

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**PERDIDAS POR EVAPORACION DE XILENO Y TOLUENO CONTROLADOS
POR EL CONSEP**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR: CAROLINA EMILIA POZO ROMERO

QUITO

2012

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

PERDIDAS POR EVAPORACION DE XILENO Y TOLUENO

CONTROLADOS POR EL CONSEP

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR: CAROLINA EMILIA POZO ROMERO

TUTOR: ING. MARIO CALLE

QUITO

2012

APROBACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Grado titulado Pérdidas por Evaporación de Xileno y Tolueno controlados por el CONSEP, me permito certificar que el mismo es original y ha sido desarrollado por la Señorita CAROLINA EMILIA POZO ROMERO bajo mi dirección y conforme a todas las observaciones realizadas, considero que el trabajo reúne los requisitos necesarios.

En la Ciudad de Quito, a los 9 días del mes de Julio del 2012.

Ing. Mario Calle.

PROFESOR TUTOR

AUTORIZACIÓN DE LA TUTORIA

Yo, CAROLINA EMILIA POZO ROMERO en calidad de autor del trabajo de graduación realizada sobre PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN DE XILENO Y TOLUENO CONTROLADOS POR EL CONSEP, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 9 de Julio del 2012

Carolina Pozo

CC. 171550411-2

caro_emy_2@hotmail.com

DEDICATORIA

Con mucho cariño principalmente a mis padres Gloria y Adolfo por ser un gran apoyo en mi carrera por que han estado en todo momento aún más en momentos difíciles siempre apoyándome y brindándome todo su amor, por todo eso y por estar a mi lado porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, va por ustedes porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho por mí

A mi hija Martina Alejandra por ser la razón de mi vida, por darme fuerza para continuar a pesar de las adversidades porque ahora más que nunca tengo una razón para vivir.

Carolina

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haber sido en todo momento mi fortaleza para luchar, a enseñarme a no darme por vencida y hacer de la constancia mi luz para ver alcanzado mi sueño.

A ti mami porque a más de ser madre ha sido una amiga por tus consejos y por no haber desamparado y estar con migo siempre. A ti papi por haberme dado todo tu respaldo en momentos difíciles siendo una guía, dándome ánimo, fuerzas, y demostrarme lo mucho que me quieres.

A toda mi familia por ser testigo de mis aciertos y fracasos durante este tiempo. A mi hija una vez más por que le ha dado sentido y dirección mi vida por ser mi pequeño y a la vez mi más grande amor.

A la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador por haberme acogido en sus aulas y a ser de mí una profesional.

Al Consejo Nacional de Sustancias Psicotrópicas y Estupefacientes por permitir el desarrollo del presente proyecto.

Al Ing. Mario Calle tutor de este trabajo, por su valiosa orientación y apoyo para la conclusión del mismo.

A todos mis amigos y compañeros de aula que han sido parte de mi vida como estudiante. Algunos que hemos permanecidos juntos otros que han decidido tomar otro camino pero todos están en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar dónde están quiero darles las gracias por formar parte de mí y por toda la amistad que me han brindado.

CONTENIDO

	Pág
APROBACIÓN	iii
AUTORIZACIÓN DE LA TUTORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xvi
LISTA DE FIGURAS.....	xviii
GLOSARIO DE TERMINOS.....	xix
RESUMEN	xxi
ABSTRACT.....	xxii
 INTRODUCCIÓN	 1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 CONSEP	3
2.1.1 Misión	3
2.1.2 Visión.....	4
2.2 Solventes.....	4
2.2.1 Generalidades.....	5
2.2.2 Propiedades Físicoquímicas.....	5
2.2.2.1 Punto de Ebullición.....	5
2.2.2.2 Punto de Fusión.....	6
2.2.2.3 Densidad de disolventes.....	7
2.2.2.4 Poder disolvente de los disolventes	7
2.2.2.5 Viscosidad y tensión superficial	7
2.2.2.6 Fuerzas intermoleculares y polaridad de las moléculas	9

2.3 Solventes Aromáticos	10
2.3.1 Generalidades.....	10
2.3.2 Propiedades de los solventes aromáticos	10
2.3.3 Toxicidad.	10
2.3.5 Embalaje	11
2.3.5.1 Buque Tanque o Buque Cisterna	11
2.3.5.2 Isotank.	12
2.3.5.3 Tambores de Acero.	12
2.3.5.4 Flexibag o Flexitank.	13
2.3.5.4 Ibc	13
2.4 Tolueno	14
2.4.1 Generalidades.....	14
2.4.2 Propiedades físicas y químicas	15
2.4.3 Reacciones	16
2.4.3.1 Cloración	16
2.4.3.2 Sulfonación.	16
2.4.3.3 Nitración.....	17
2.4.4 Usos.....	17
2.5 Xileno.....	18
2.5.1 Generalidades.....	18
2.5.2 Propiedades Fisicoquímicas	19
2.5.3 Usos	19
2.5.3.1 Para Fines Químicos	19
2.5.3.2 Para fines no Químicos.....	19
2.6 Evaporación	21
2.6.1 Generalidades.....	21
2.6.2 Presión o tensión de vapor de saturación	21
2.6.3 Ebullición	24
2.6.4 Calor Latente de Evaporación.....	26
2.6.5 La Conductividad Térmica.....	27
2.7 Pérdidas por Evaporación	28
2.7.2. Pérdidas por evaporación en la manipulación.....	28
2.7.3. Pérdidas por evaporación en operaciones industriales.	28
2.7.3.1 Tanque Agitado.....	29
2.7.3.2. Turbulencia	29
2.7.3.3. Número de Reynolds (Re).	30
2.8 Análisis de Regresión Multivariable.....	31
2.8.1 Generalidades.....	31
2.8.2. Regresión Múltiple.....	31
2.8.3 Ajuste del modelo: Método de los Mínimos Cuadrados.	32

2.8.3.1 Forma matricial del modelo.	33
2.8.4 Estimación de σ^2 , la varianza de ε	34
2.8.5 Correlación Múltiple	35
2.8.6 Coeficiente de Determinación	35
2.8.7 Prueba de la utilidad de un modelo de regresión múltiple:	36
 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	 37
3.1 Sustancias y Reactivos	37
3.2 Equipos y Materiales	37
3.3 Procedimiento	37
3.3.1 Definición de Términos.....	37
3.3.1.1 Almacenamiento.....	37
3.3.1.2 Sistema Estático	38
3.3.1.3 Sistema Dinámico	38
3.3.2 Desarrollo de la experimentación	38
3.3.2.1 Pérdidas por evaporación en el Almacenamiento	38
3.3.2.2 Pérdidas por evaporación en el Sistema Estático	38
3.3 Diseño Experimental.....	39
3.5 Simbología	41
3.6 Datos Experimentales	42
3.6.1 Para la condición de Almacenamiento.....	42
3.6.2 Para el Sistema Estático	43
3.6.3 Para el Sistema Dinámico	44
 4. CALCULOS Y RESULTADOS	 45
4.1 Cálculo de las pérdidas por evaporación del Tolueno y Xileno para el Almacenamiento.....	45
4.1.3 Cálculo de la relación WE/A	46
4.2. Cálculo de las pérdidas por evaporación del Tolueno y Xileno, en Sistema Estático	48
4.2.1 Cálculo de la masa evaporada	49
4.2.2 Cálculo de la relación WE/A	49
4.2.3 Cálculo del Flujo Másico (N_a).....	50
4.3. Cálculo de las pérdidas por evaporación del Tolueno y Xileno, en Sistema Dinámico.	51
4.3.1 Cálculo del área de evaporación.....	52
4.3.2. Cálculo del Número de Reynolds.....	53
4.3.3 Cálculo del peso evaporado a determinados regímenes de Turbulencia.....	54

4.3.4 Cálculo de la relación W_E/A , a determinados regímenes de turbulencia	55
4.3.5 Cálculo del Flujo Másico (N_a) a los diferentes regímenes de turbulencia	55
4.4. Resultados de pérdidas por evaporación y relación W_E/A para el Almacenamiento para el Tolueno y el Xileno	57
4.5 Resultados de pérdidas por evaporación y relación W_E/A en el Sistema Estático	58
4.6 Resultados de pérdidas por evaporación y relación W_E/A en Sistema Dinámico	60
4.7 Tratamiento Estadístico	62
4.7.1. Tratamiento Estadístico para el Tolueno y Xileno en Almacenamiento.	62
4.7.2 Tratamiento Estadístico para el Tolueno y el Xileno en Sistema Estático	67
4.7.3 Tratamiento Estadístico para el Tolueno y el Xileno en Sistema Dinámico.....	72
4.7.3.1 Obtención de las pendientes que representan el Flujo Másico ($m=N_a$) de los gráficos $W_E/A = f(t)$ a diferentes temperaturas y regímenes de turbulencia	72
4.7.3.3 Regresión Múltiple.....	80
4.8 Comprobación de los Modelos Obtenidos.....	87
4.8.1 Para el Almacenamiento.....	87
4.8.1.1 Para el Tolueno	87
4.8.1.2 Para el Xileno.....	87
4.8.2 Para el Sistema Estático	88
4.8.2.1 Para el Tolueno	88
4.8.2.2 Para el Xileno.....	89
4.8.3 Para el Sistema Dinámico	89
4.8.3.1 Para el Tolueno	89
4.8.3.2 Para el Xileno.....	91
4.9 Aplicación de los Modelos Obtenidos	92
4.9.1 Aplicación del Modelo Obtenido para Almacenamiento.....	92
4.9.2.1 Para el Tolueno	96
4.9.2.2 Para el Xileno.	97
4.9.3 Aplicación del Modelo Obtenido para el Sistema Dinámico	98
4.9.3.1 Para el Tolueno	99
4.9.3.2 Para el Xileno	100

5. DISCUSIÓN DE DATOS Y RESULTADOS.....	102
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
6.1 Conclusiones.....	104
6.2 Recomendaciones	105
CITAS BIBLIOGRAFICAS	107
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS.....	112

LISTA DE CUADROS

	Pág
Cuadro 1. Sustancias sujetas a fiscalización y control por el Consejo Nacional de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas (CONSEP).....	4
Cuadro 2. Propiedades Fisicoquímicas del Tolueno.....	15
Cuadro 3. Propiedades Fisicoquímicas del Xileno.....	19
Cuadro 4. Parámetros que influyen la “volatilidad” de un solvente.....	27
Cuadro 5. Simbología utilizada, variables de la parte experimental.....	41
Cuadro 6. Datos Registrados Experimentalmente para el Tolueno (Almacenamiento).....	42
Cuadro 7. Datos Registrados Experimentalmente para el Xileno (Almacenamiento).....	42
Cuadro 8. Datos Registrados Experimentalmente para el Tolueno (Sistema Estático).....	43
Cuadro 9. Datos Registrados Experimentalmente para el Xileno (Sistema Estático).....	43
Cuadro 10. Datos registrados experimentalmente para el Tolueno (Sistema Dinámico).....	44
Cuadro 11. Datos registrados experimentalmente para el Xileno (Sistema Dinámico).....	44

Cuadro 12. Datos del Agitador.....	51
Cuadro 13. Propiedades físicas para el Tolueno.....	52
Cuadro 14. Propiedades físicas para el Xileno.....	52
Cuadro 15. Números de Reynolds para el Tolueno utilizados en la experimentación.....	54
Cuadro 16. Números de Reynolds para el Xileno utilizados es la experimentación.....	54
Cuadro 17. Resultados de: peso evaporado (w_E) y relación W_E/A para el Tolueno (Almacenamiento)	57
Cuadro 18. Resultados de: peso evaporado (w_E) y relación W_E/A para el Xileno (Almacenamiento).....	58
Cuadro 19. Resultados de: peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Tolueno (Sistema Estático).....	59
Cuadro 20. Resultados del peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Xileno (Sistema Estático).....	59
Cuadro 21. Resultados de: peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Tolueno a diferentes regímenes de turbulencia.....	60
Cuadro 22. Resultados de: peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Xileno a diferentes regímenes de turbulencia.....	61
Cuadro 23. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (N_a) para cada temperatura (Tolueno) (Almacenamiento).....	62
Cuadro24. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (N_a) para cada temperatura (Xileno) (Almacenamiento).....	62
Cuadro25. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (N_a) para cada temperatura (Tolueno) (Sistema Estático).....	67
Cuadro26. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (N_a) para cada temperatura (Xileno) (Sistema Estático).....	67
Cuadro27. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (N_a) para cada temperatura y número de Reynolds (Re) para el Tolueno.....	72

Cuadro 28. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (Na) para cada temperatura y número de Reynolds (Re) para el Xileno.....	76
Cuadro29. Resultados de Excel para el Tolueno (Regresión Múltiple).....	81
Cuadro30. Resultados de Excel para el Xileno (Regresión Múltiple).....	81
Cuadro31. Comprobación de las ecuaciones obtenidas por Regresión Múltiple para el Tolueno.....	83
Cuadro32. Comprobación de las ecuaciones obtenidas por Regresión Múltiple para el Xileno.....	83
Cuadro 33. Resumen de los Modelos Obtenidos	85
Cuadro 34. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno (Almacenamiento).....	87
Cuadro 35. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno (Almacenamiento).....	88
Cuadro 36. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno (Sistema Estático).....	88
Cuadro 37. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno (Sistema Estático).....	89
Cuadro 38. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno a $T = 19^{\circ}\text{C}$ (Sistema Dinámico).....	90
Cuadro 39. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno a $T = 23^{\circ}\text{C}$ (Sistema Dinámico).....	90
Cuadro 40. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno a $T = 26^{\circ}\text{C}$ (Sistema Dinámico).....	91
Cuadro 41. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno a $T = 19^{\circ}\text{C}$ (Sistema Dinámico).....	91
Cuadro 42. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno a $T = 23^{\circ}\text{C}$ (Sistema Dinámico).....	92
Cuadro 43. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno a $T = 26^{\circ}\text{C}$ (Sistema Dinámico).....	92
Cuadro 44. Peso Evaporado de Tolueno en un Tanque de Acero a diferentes Temperaturas.....	93

Cuadro 45. Peso Evaporado de Xileno en un Tanque Ibc a diferentes Temperaturas.....	94
Cuadro 46. Características del Tanque de Almacenamiento.....	95
Cuadro 47. Peso Evaporado de Tolueno a diferentes Temperaturas durante el día para Quito.....	96
Cuadro 48. Peso Evaporado de Tolueno a diferentes Temperaturas durante el día para Guayaquil.....	97
Cuadro 49. Peso Evaporado de Xileno a diferentes Temperaturas durante el día para Quito.....	97
Cuadro 50. Peso Evaporado de Xileno a diferentes Temperaturas durante el día para Guayaquil.....	98
Cuadro 51. Pérdidas de Peso del Tolueno sometido a diferentes Regímenes de Turbulencia a diferentes Temperaturas.....	100
Cuadro 52. Pérdidas de Peso del Xileno sometido a diferentes Regímenes de Turbulencia a diferentes Temperaturas.....	101
Cuadro 53. Resumen de los Modelos Obtenidos generados de los Datos Experimentales.....	105

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág
Gráfico 1. Punto de Ebullición en función del Número de átomos de Carbono.....	6
Gráfico 2. Tensión Superficial en función del tiempo de formación superficie.....	8
Gráfico 3. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Tolueno a 19°C en el Almacenamiento.....	47
Gráfico 4. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Xileno a 19°C en el Almacenamiento.....	48
Gráfico 5. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Tolueno a 19°C en el Sistema Estático.....	50
Gráfico 6. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Xileno a 19°C en el Sistema Estático.....	51
Gráfico 7. Masa evaporada/área en función del tiempo para el Tolueno a 19°C y $Re = 927$	56
Gráfico 8. Masa evaporada/área en función del tiempo para el Xileno a 19°C y $Re = 808$	57
Gráfico 9. Masa evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a diferentes Temperaturas en el Almacenamiento.....	63
Gráfico 10. Masa evaporada / área en función del tiempo para el Xileno a diferentes Temperaturas en el Almacenamiento.....	64
Gráfico 11. Flujo másico en función de la temperatura para el Tolueno en el Almacenamiento.....	65
Gráfico 12. Flujo másico en función de la Temperatura para el Xileno en el Almacenamiento.....	66

Gráfico 13. Masa evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a diferentes temperaturas para el Sistema Estático.....	68
Gráfico 14. Masa evaporada / área en función del tiempo para el Xileno a diferentes temperaturas para el Sistema Estático.....	69
Gráfico 15. Flujo másico en función de la Temperatura para el Tolueno en el Sistema Estático.....	70
Gráfico 16. Flujo másico en función de la Temperatura para el Xileno en el Sistema Estático.....	71
Gráfico 17. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a 19°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico.....	73
Gráfico 18. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a 23°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico.....	74
Gráfico 19. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a 26°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico.....	75
Gráfico 20. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Xileno a 19°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico.....	77
Gráfico 21. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Xileno a 23°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico.....	78
Gráfico 22. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Xileno a 26°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico.....	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Buque Tanque.....	12
Figura 2. Esquema del procedimiento de comercialización del solvente cuando llega en Buque Tanques.....	12
Figura 3. Isotank.....	12
Figura 4. Tambor Metálico.....	13
Figura 5. Flexibag.....	13
Figura 6. Ibc.....	13
Figura 7. Fórmula Química del Tolueno.....	14
Figura 8. Fórmula Química del Xileno.....	18
Figura 9. Presión de vapor de un líquido.....	22
Figura 10. Ebullición de un líquido.....	24
Figura 11. Calor Latente de Evaporación.....	26
Figura 12. Diseño Experimental para el Almacenamiento y el Sistema Estático.....	39
Figura 13. Diseño Experimental para el Sistema Dinámico.....	40
Figura 14. Representación del recipiente usado en la experimentación (Almacenamiento).....	45
Figura 15. Representación del recipiente usado en la experimentación (Sistema Estático).....	48
Figura 16. Representación del recipiente usado en la experimentación (Sistema dinámico).....	52
Figura 17. Dimensiones del Tanque.....	93
Figura 18. Dimensiones del Ibc.....	94
Figura 19. Dimensiones del Tanque de Almacenamiento.....	95

GLOSARIO DE TERMINOS

Almacenamiento: Se considera al recipiente cerrado que se encuentra almacenado en bodegas o galpones.

Cantonera: Pieza que se pone en la esquina de los Ibc's como refuerzo.

Disolvente: Sustancia química volátil componente de determinados productos que se libera espontáneamente tras su aplicación y finalizado su proceso de curado. La duración del proceso varía según los componentes de los productos.

Embalaje: El embalaje es un recipiente o envoltura que contiene productos de manera temporal principalmente para agrupar unidades de un producto pensando en su manipulación, transporte y almacenaje.

Evaporación: Conversión gradual de un líquido en gas sin que haya ebullición.

Modelo Matemático. Es uno de los tipos de modelos científicos que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

Re: Número de Reynolds, número adimensional utilizado para identificar el fenómeno de transporte de fluidos y la incidencia de la agitación dentro del cálculo de las pérdidas por evaporación.

Sistema Estático: Se entiende como sistema estático al recipiente abierto que se encuentra en espera antes de ser usado en un proceso productivo.

Sistema Dinámico. Se entiende por sistema dinámico al recipiente abierto que contiene el solvente sometido a una agitación, considerando esto a proceso productivo del solvente.

Solventes. Son compuestos orgánicos basados en el elemento Carbono. Algunos de ellos tienen aplicaciones industriales como los pegamentos, pinturas, barnices y fluidos de limpieza

Sustancias Químicas Catalogadas. Bajo esta denominación se engloban una serie de sustancias químicas que se utilizan habitualmente para usos legítimos pero que, debidamente manipuladas, son necesarias para la fabricación de estupefacientes y sustancias sicotrópicas, motivo por el cual son objeto de control.

Tanque Agitado. Los tanques agitadores o tanques mezcladores son equipos donde se realiza una mezcla de componentes y cuando ocurre una reacción química se llama reactor químico.

Tensión Superficial. Propiedad de un líquido que hace que se comporte **como si su superficie estuviera encerrada en una lámina elástica.**

Turbulencia. Turbulencia o flujo turbulento es un régimen de flujo caracterizado por baja difusión de momento, alta convección y cambios espacio-temporales rápidos de presión y velocidad.

Viscosidad. Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal.

Volatilidad. Es una medida de la tendencia de una sustancia a pasar a vapor. Se ha definido también como una medida de la facilidad con que una sustancia se evapora.

PERDIDAS POR EVAPORACIÓN DE XILENO Y TOLUENO CONTROLADOS POR EL CONSEP

RESUMEN

Se realizó la cuantificación de las pérdidas por evaporación del Xileno y Tolueno, sustancias controladas por el CONSEP, al ser sometidas a diferentes condiciones de temperatura y regímenes de turbulencia. El estudio se desarrolló considerando tres sistemas: Almacenamiento en recipientes cerrados y en reposo, Sistema Estático en recipientes abiertos y en reposo y Sistema Dinámico en recipientes abiertos y con agitación. Para lo cual se construyeron 3 cámaras de calentamiento en las que se controló tres temperaturas de experimentación 19, 23 y 26°C. En las cámaras se simulaban los tres sistemas y para el Sistema Dinámico se considerando tres velocidades de agitación. La medida de las variaciones de masa se las realizó a diario para el Almacenamiento y a intervalos de 60 y 30 minutos para el Sistema Estático y Dinámico, respectivamente. Se determinó el área de evaporación y con los datos obtenidos se realizó un tratamiento estadístico para obtener un modelo matemático para cada solvente que relaciona las variables responsables de la evaporación en cada sistema y se concluyó que el tolueno es más volátil que el xileno y que la evaporación se incrementa en forma proporcional con la temperatura y la agitación.

PALABRAS CLAVES: / XILENO/ TOLUENO/ PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN / MODELOS MATEMÁTICOS/ CONSEP/ SOLVENTES /

EVAPORATION LOSSES AND TOLUENE XYLENE CONTROLLED BY CONSEP

ABSTRACT

We performed the quantification of losses by evaporation of Xylene and Toluene, controlled substances CONSEP, when subjected to different conditions of temperature and turbulent regimes. The study was conducted considering three systems: Storage in closed containers and at rest, in open containers Static System and System Dynamics at rest and in open containers with stirring. Which were constructed for heating chambers 3 is controlled in three experimental temperatures 19, 23 and 26 ° C. The camera was simulated for the three systems and is considering three Dynamic System agitation speeds. The measurement of mass changes in the daily performed for the Storage and at intervals of 60 and 30 minutes for Static and Dynamic System, respectively. Was determined by the evaporation area and the data obtained with a statistical treatment was performed to obtain a mathematical model for each solvent which relates the variable responsible for the evaporation in each system and it was concluded that toluene is more volatile than the xylene and the evaporation increases proportionally with temperature and agitation.

KEYWORDS: / XYLENE / TOLUENE / LOSS BY EVAPORATION /
MATHEMATICAL MODELS / CONSEP / SOLVENTS /

INTRODUCCIÓN

El Consejo Nacional de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas CONSEP tiene a su cargo el control de sustancias químicas catalogadas, las mismas que son usadas ampliamente en la Industria Ecuatoriana, el control es realizado tanto en la importación, distribución, transporte, almacenamiento, venta y utilización de precursores químicos que se emplean en el mercado de las drogas para el proceso de refinación de sustancias psicotrópicas y estupefacientes.

La ley que regula este control actualmente es muy rígida por lo que la fiscalización es realizada sin considerar aspectos técnicos, es decir se procede a controlar pesos exactos de éstos solventes sin consideran posibles mermas ocasionadas por la naturaleza de los mismos, con la elaboración del presente trabajo se espera contribuir con información que permita restaurar la presente ley, a través de datos experimentales de pérdidas por evaporación mediante modelos matemáticos que permitan predecir dichas mermas de los solventes al ser sometidos a diferentes condiciones: Almacenamiento, Sistema Estático y Sistema Dinámico, por lo que en el presente proyecto se ha simulado éstas condiciones y los factores influyentes en la evaporación como son la temperatura, área de evaporación, tiempo y velocidad de agitación (Re).

Al obtener los datos experimentales se procedió a realizar un tratamiento estadístico que permitió obtener tres modelos matemáticos diferentes para cada solvente: para el Almacenamiento y el Sistema Estático se aplicó regresiones lineales y para el Sistema Dinámico se aplicó una regresión multivariable. Los modelos obtenidos para el Tolueno son:

$$W_E = 0,000291 * T + 0,003102 * A * t$$

para el Almacenamiento,

$$W_E = 0,00000727 * T - 0,00002046 * A * t$$

para el Sistema Estático y $W_E = 0,001173822 - 0,000102316 T - 1,95782 \times 10^{-9} Re + 2,40441 \times 10^{-6} T^2 - 3,20991 \times 10^{-13} Re^2 + 7,29887 \times 10^{-10} T * Re * A * t$ para el Sistema Dinámico, en cuanto al Xileno se llegó a: $W_E = 0,00011366 * T + 0,00544732 * A * t$ para el Almacenamiento, $W_E = 0,00000174 * T + 0,00001295 * A * t$ para el Sistema Estático y $W_E = -0,000288104 + 2,72146 \times 10^{-5} T + 2,54074 \times 10^{-8} Re - 5,17993 \times 10^{-7} T^2 - 4,76256 \times 10^{-13} Re^2 - 5,76776 \times 10^{-10} T * Re * A * t$ para el Sistema Dinámico, éstos modelos permiten obtener la masa evaporada en gramos teniendo en cuenta las variables responsables de la evaporación.

El incremento de la temperatura en cada uno de los sistemas simulados favorece a la evaporación de ambos solventes puesto que a iguales intervalos de tiempo el incremento de 7°C produce: 0,74 gramos más de evaporación para el Tolueno y 0,26 gramos más para el Xileno en el Almacenamiento en 8 días, 0,74 gramos más para el Tolueno y 0,22 gramos más para el Xileno en el Sistema Estático en 480 minutos y 0,49 gramos más para el Tolueno y 0,27 gramos más para el Xileno en 240 minutos y 60 rpm de agitación en el Sistema Dinámico, coincidiendo además que el Tolueno es más volátil que el Xileno esto debido a que la presión de vapor del Xileno es menor que la del Tolueno.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONSEP

El Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas es una Institución creada para el control y fiscalización de precursores y sustancias químicas específicas teniendo funciones y atribuciones en todo el país para la aplicación y cumplimiento de la Ley de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas

Ley 108 sobre Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas

Art. 99.- Faltantes o excedentes de sustancias.- Si en las farmacias, boticas o droguerías autorizadas para vender al público sustancias sujetas a fiscalización se comprobare faltantes o excedentes en las existencias de ellas, o de preparados que las contengan, los propietarios de estos establecimientos, sus representantes legales y responsables técnicos serán sancionados, a menos que la diferencia fuere tan pequeña que pudiera imputarse a errores de los que suelen ocurrir en pesajes o mediciones o a las características de estabilidad de la fórmula correspondiente y cuya tolerancia máxima se establecerá en forma tabular en el Reglamento de esta Ley

2.1.1 Misión. El Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas ejerce la rectoría de la política de Estado en materia de drogas, centrada en un enfoque integral, equilibrado y solidario, así como en el principio de responsabilidad compartida.

2.1.2 Visión. El Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas ha desarrollado en la nación ecuatoriana una cultura de prevención y control que coadyuva en la reducción de la oferta y la demanda de drogas, encaminada al desarrollo sustentable del país”⁽¹⁾

Cuadro 1. Sustancias sujetas a fiscalización y control por el Consejo Nacional de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas (CONSEP)

Productos Químicos Específicos	
Acetona	Éter de Petróleo
Ácido Acético	Éter Etílico
Ácido Clorhídrico	Hexano
Ácido Sulfúrico	Hidróxido de Potasio
Alcohol Isobutílico	Hidróxido de Sodio líquido
Alcohol Isopropílico	Hidróxido de Sodio Sólido
Amoníaco Anhidro	MetilEtil Cetona
Amoníaco en disolución Acuosa	MetilIsobutil Cetona
Anhídrido Acético	m – Xileno
Benceno	Óleum (Ácido Sulfúrico Fumante)
Benzol	o- Xileno
Bicarbonato de Sodio	Permanganato de Potasio
Bicarbonato y Carbonato de Potasio	p- Xileno
Carbonato de Sodio	Sulfato de Sodio
Ciclohexano	Tolueno
Cloruro de Calcio	Toluol
Diacetona Alcohol	Tricloroetileno
Diclorometano	Xileno-mezcla de isómeros
Disulfuro de Carbono	Xilol

Fuente: Elaboración propia

2.2 Solventes

2.2.1 Generalidades. “Sustancia que es capaz de destruir la agregación de las moléculas de un cuerpo soluble. Un significado más amplio de la palabra es aquel componente que se halla en mayor proporción en una mezcla homogénea.”⁽²⁾

“Los solventes son compuestos orgánicos basados en el elemento Carbono. Algunos de ellos tienen aplicaciones industriales como los pegamentos, pinturas, barnices y fluidos de limpieza. Otros son utilizados como gases en aerosoles, extintores de fuego o encendedores para cigarrillos.

Estas sustancias que expelen vapores a temperatura ambiente (solventes volátiles como la nafta o la cetona) o que son en si mismas gases (butano, propano) pueden ser inhaladas a través de la boca o nariz generando un efecto psicoactivo.

Muchos de los disolventes que se emplean en procesos industriales de extracción dejan residuos en los productos o tienen efectos nocivos sobre el ambiente. En muchos casos pueden ser reemplazados por gases no tóxicos de fácil separación y de impacto ambiental prácticamente nulo, como el dióxido de carbono o el propano. Para ello es necesario que estos gases estén en con los solventes, solventes usados, mezclas de solventes, o los residuos de solventes son frecuentemente peligrosos.”⁽³⁾

2.2.2 Propiedades Fisicoquímicas

2.2.2.1 Punto de ebullición. “El punto de ebullición de un líquido es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión exterior a dicho líquido si se encontrase en un recipiente cerrado.

A continuación se observa la relación del punto de ebullición de los disolventes según su número de carbonos.

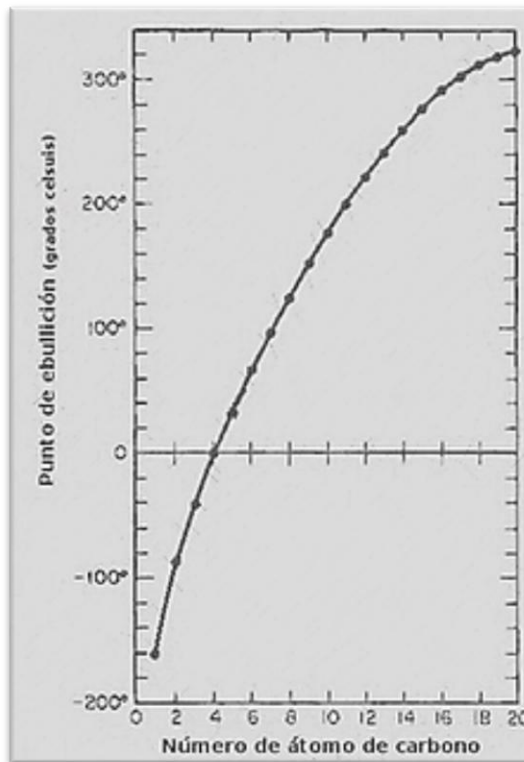


Gráfico 1. Punto de Ebullición en función del Número de átomos de Carbono

Sabemos que el punto de ebullición permite realizar separaciones de componentes en una mezcla, pero también debemos tener en cuenta que el punto de ebullición aumenta en cualquier solución cuando el soluto es no volátil, debido a que, al ser el soluto no volátil, la solución generará menor presión de vapor con respecto al solvente puro, por lo que será necesario calentar a una temperatura más alta para conseguir que la presión de vapor sea igual a 1 atmósfera. Esto supone que la temperatura de ebullición del solvente será más alta.

2.2.2.2 Punto de fusión. Disminución del punto de congelación: Se observó que el agua de mar funde a menor temperatura que el agua pura. Esto se debe a la existencia de sales, o sea, un soluto. Existe un equilibrio dinámico entre las partículas que solidifican y las partículas que se fusionan. Cuando se añade un soluto este equilibrio dinámico se rompe ya que las moléculas del soluto congelan a menos velocidad. Es necesaria una disminución de la temperatura para alcanzar un nuevo equilibrio.

2.2.2.3 Densidad de disolventes. Generalmente los solventes tienen menor densidad que el agua, excepto algunos como el Cloruro de metileno o Cloroformo, que son más densos y viscosos que el agua. Generalmente, debido a la baja inflamabilidad de los compuestos clorados, se usa en la limpieza de metal, en la industria electrónica o como agente de limpieza en seco.

2.2.2.4 Poder disolvente de los disolventes. El poder disolvente varía con la temperatura y en una mezcla de disolventes rara vez es el promedio de los valores de los componentes individuales. Los líquidos de moléculas pequeñas son mejores disolventes que los de moléculas grandes y, en general, proporcionan disoluciones de menor viscosidad. Así, en una serie homóloga hay una disminución del poder disolvente y un incremento de la viscosidad al aumentar el peso molecular.”⁽⁴⁾

2.2.2.5 Viscosidad y tensión superficial. “Generalmente se espera que los solventes diluyan a los solutos y disminuyan su viscosidad; pero no siempre quien reduce la viscosidad será el solvente adecuado, por ejemplo, en soluciones muy diluidas, la viscosidad disminuye si el disolvente disuelve mal a la sustancia, lo que se desea es que la disolución sea buena, en cambio si el solvente disuelve bien al soluto, las moléculas estarán más extendidas proporcionando más viscosidad. Sin embargo, en soluciones concentradas, las moléculas del soluto se disgregan y el mejor solvente será quien proporcione menos viscosidad.

Otro factor a tener en cuenta es la **tensión superficial del disolvente**.

La Tensión superficial es una fuerza que hace que las superficie de los líquidos se comporten como una capa elástica, debido a las fuerzas intermoleculares SÓLO DE ATRACCIÓN que experimentan las moléculas del líquido en la superficie.

Esta influye en el brillo, en la textura de la superficie, en la flotación de los pigmentos y en la adherencia de la película (capa exterior de la solución). La flotación de pigmentos (pequeñas partículas que cambian el color de la luz que reflejan por medio de la adsorción de color) es un fenómeno en el cual una pintura que contiene dos o más pigmentos se seca de tal manera que uno de ellos se separa de los otros (disolución no homogénea) y se concentra en forma de rayas sobre la superficie de la película (flota). El disolvente o mezcla de disolventes debe evitar

este problema, ya que los solventes deben interactuar de manera equivalentes con cualquier sustancia que diluya en la solución.

Los disolventes tienen tensiones superficiales que oscilan de $18 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m/s}^2$ para los hidrocarburos alifáticos, y hasta $30 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m/s}^2$ para los disolventes oxigenados. Estos valores son inferiores a la tensión superficial de algunos compuestos orgánicos, por lo que:

Fuerza de Tensión superficial disolvente > fuerza de tensión superficial de soluto

Como consecuencia el disolvente disminuye la tensión superficial de la solución, moja la superficie del soluto y facilita la formación de la película. Si la formación de la película es buena hay mayor humectación de la superficie, lo que es esencial para una buena adherencia. Esto se debe a que las moléculas se aproximan lo suficiente para que se formen enlaces de adherencia (enlaces intermoleculares entre la superficie y las moléculas de disolvente). Varios recubrimientos se aplican como dispersiones en agua y dado que el agua tiene una tensión superficial muy elevada de $72,7 \cdot 10^{-5} \text{ Kg.m/s}^2$ es necesario añadir tensoactivos para que esta disminuya y permita una mejor disolución.

Aquí vemos un tensoactivo en agua: el tiempo de formación de la película de la superficie disminuye a medida que se reduce la tensión superficial del solvente, y permite una mejor disolución.

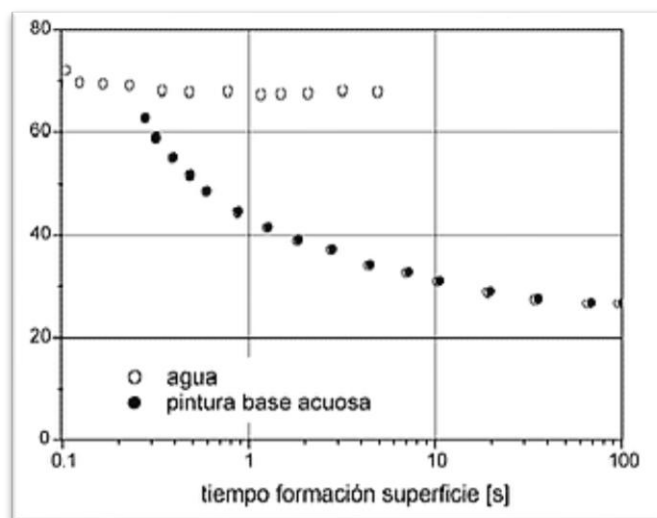


Gráfico 2. Tensión Superficial en función del tiempo de formación superficie

2.2.2.6 Fuerzas intermoleculares y polaridad de las moléculas. Como se acaba de ver en el inciso anterior, las fuerzas intermoleculares son parámetros para muchas ecuaciones que predicen la realización de una reacción, y es que de éstas también dependerán la mayoría de las propiedades de los solventes, y su acción de disolver. Por ejemplo, en los procesos de disolución de un polímero rara vez se utiliza un único disolvente sino una mezcla de dos o más disolventes, ya que el disolvente principal puede no tener un poder disolvente muy fuerte como para disgregar toda la molécula, y para eso se le agregan DISOLVENTES LATENTES (como un alcohol).”⁽⁵⁾

2.3 Solventes Aromáticos

2.3.1 Generalidades. “Son cortes de petróleo provenientes de la destilación al vacío. Los solventes aromáticos tienen en común un anillo de benceno y la presencia de éste con frecuencia los convierte en productos peligrosos para la salud, siendo algunos de ellos conocidos o sospechados productos cancerígenos.

2.3.2 Propiedades de los solventes aromáticos

Migración.- Tomando en cuenta su baja viscosidad y la tensión superficial bastante elevada, los solventes aromáticos son penetrantes.

Evaporación.- Los solventes aromáticos utilizados en conservación se evaporan rápidamente y permanecen poco tiempo en las capas pictóricas.

Disolución.- Con su constante dieléctrica baja y su débil momento dipolar, las interacciones de los hidrocarburos aromáticos con el soluto son relativamente débiles. Ellas resultan esencialmente de la polarización de las moléculas. Fuerzas de inducción y de dispersión. Son poco ionizantes, no ionizantes, apolares, muy polarizables y dispersivas. Desde el punto de vista del intercambio de electrones, pueden funcionar como dadores de electrones, son bases débiles y por lo tanto pueden también intervenir en los enlaces de hidrógeno como captadores de protones.

2.3.3 Toxicidad. Los hidrocarburos aromáticos ejercen una acción depresiva en el sistema nervioso central. Son irritantes de la piel y de las mucosas. El benceno ataca la médula ósea por lo que se debe evitar su uso.”⁽⁶⁾

2.3.4 Obtención. “Las principales fuentes de obtención de hidrocarburos aromáticos son el alquitrán de la hulla y el petróleo. Cuando se calienta la hulla en ausencia de aire se descompone dando tres productos principales que son: gas de coquería, alquitrán de hulla y el coque. El gas de coquerías está constituido fundamentalmente por metano (32%) e hidrógeno (52%) se purifica haciéndolo pasar a través de unas columnas y luego se utiliza como combustible doméstico e industrial. El coque que es carbono casi puro, se emplea en la reducción del mineral de hierro en los altos hornos.

El alquitrán de hulla se somete a un proceso de destilación fraccionada y a procesos de separación química con el fin de recuperar los constituyentes aromáticos y heterocíclicos que contiene.

De esta manera y en diferentes intervalos de destilación se obtienen una primera fracción de la que se extrae por destilación fraccionada la mezcla BTX (Benceno, Tolueno, Xileno), así como etilbenceno. En las siguientes fracciones y por extracción con NaOH se obtiene fenoles y un residuo. Finalmente en las siguientes fracciones y por procesos de cristalización se obtienen naftaleno y fenantreno.

La otra fuente fundamental de aromáticos la constituye el petróleo. El propio petróleo en cada yacimiento contiene hidrocarburos aromáticos en cantidades variables, aunque en algunos yacimientos este contenido es bastante considerable. Los principales compuestos aromáticos que se obtienen del petróleo son el benceno, tolueno y xilenos, y en menor medida, naftaleno y antraceno. La mayor parte de las mezclas BTX que se producen en las refinerías se suelen obtener por los procesos de reformado catalítico y craqueo al vapor fundamentalmente.

Algunos compuestos aromáticos se encuentran presentes en la naturaleza, obteniéndose a partir de sustancias de origen vegetal y con frecuencia constituyen una fuente de derivados aromáticos específicos. Ejemplos de algunos de ellos, los tenemos en algunos colorantes que más se han empleado desde la antigüedad como son el púrpura de Tiro que se extraía de un molusco, el *Murex brandaris* (cañailla), y el azul índigo que se extraía de las distintas especies de la planta del índigo, concretamente de la *Indigofera*.

Asimismo se pueden también considerar otros derivados como son las naftoquinonas y las antraquinonas.”⁽⁷⁾

2.3.5 Embalaje

2.3.5.1 Buque Tanque o Buque Cisterna. Destinado al transporte de las diversas clases de combustibles líquidos. Consiste en recibir el solvente proveniente de un buque en tanques de almacenamiento para posteriormente ser transportados mediante tanques cisterna a su lugar de destino.



Figura 1. Buque Tanque

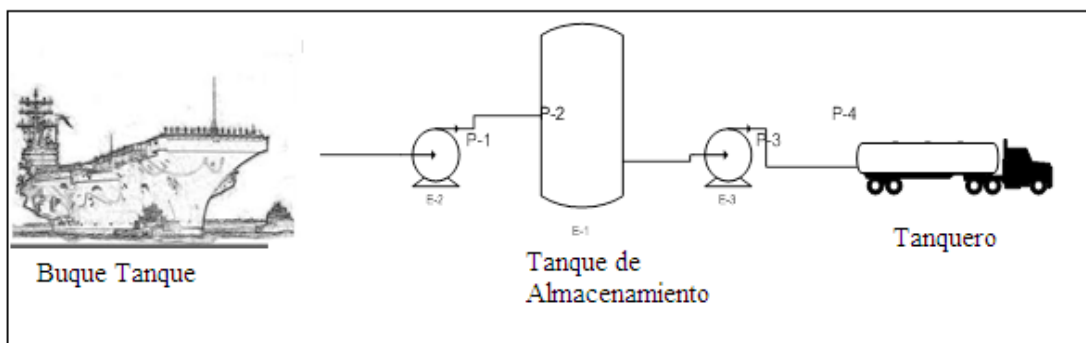


Figura 2. Esquema del procedimiento de comercialización del solvente cuando llega en Buque Tanques

2.3.5.2 Isotanque. .El contenedor isotanque fue diseñado para transportar toda clase de líquidos. Con éste contenedor se eliminan los riesgos que pueden surgir al transferir líquidos de un buque a otro y se ofrece un medio de transporte extremadamente seguro rentable y viable.



Figura 3. Isotanque

2.3.5.3 Tambores de Acero. Son recipientes metálicos en los cuales se transporte solventes siendo el contenedor de transporte más común con capacidad para 55 galones.



Figura 4. Tambor Metálico

2.3.5.4 Flexibag o Flexitank. Son bolsas flexibles de PVC o Polietileno que se instalan dentro de un contenedor de 20 pies convirtiendo el mismo para el transporte de líquidos a granel con una capacidad para almacenar hasta 24.000 litros de producto. Los Flexitank cuentan con una válvula de carga y descarga del contenido con acople rápido standard de dos pulgadas, posee además una válvula de venteo para el escape del aire contenido en el momento de carga.



Figura 5. Flexibag

2.3.5.4 Ibc. Son contenedores con capacidad para transportar 1000 L aptos para transportar mercaderías peligrosas además disponen de 4 cantoneras, fabricadas en polietileno, en las esquinas inferiores que protegen al cuerpo de golpes durante su manipulación.



Figura 6. Ibc

2.4 Tolueno

2.4.1 **Generalidades.** “El Tolueno (toluol, metilbenceno), $C_6H_5CH_3$ peso mol 92.134, es un hidrocarburo líquido, segundo miembro de la serie aromática que comienza por el benceno. El tolueno es volátil, y tiene olor característico parecido al del benceno, aunque más suave y ligeramente semejante al de las resinas balsámicas. Es la materia prima a partir de la cual se obtienen derivados del benceno, el ácido benzoico, el fenol, la caprolactama, la sacarina, el TDI (diisocianato de tolueno) materia prima para la elaboración de poliuretano, medicamentos, colorantes, perfumes, TNT y detergentes.

Su nombre deriva del bálsamo de Tolú extraído del árbol *Myroxylonbalsamum*, del cual Henri EtienneSainte-Claire Deville lo obtuvo por primera vez en 1844 mediante destilación seca.

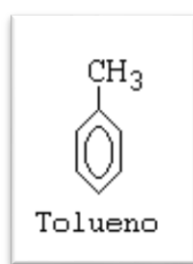


Figura 7: Fórmula Química del Tolueno

Las fuentes industriales más importantes del tolueno son el petróleo y la hulla grasa. Se emplea como materia prima para obtener el explosivo trinitrotolueno, como disolvente industrial, como componente de la gasolina y como materia prima para obtener productos químicos intermedios en la producción de materias colorantes, perfumes y medicamentos.”⁽⁸⁾

2.4.2 Propiedades físicas y químicas

Cuadro 2. Propiedades fisicoquímicas del tolueno

Peso molecular	92,13 g/mol
Densidad relativa a 20 °C	0,87
Densidad relativa de vapor (aire =1)	3,1
Viscosidad (cp) (20 °C)	0,58
Presión de vapor	21 mmHg
Punto de ebullición	111 °C
Punto de fusión	-95 °C
Solubilidad	Poco soluble en el agua
Miscibilidad	Alcohol, cloroformo

Fuente: KIRK Raymond, Enciclopedia de Tecnología Química. Editorial Hispano-Americano. México. Vol. 15. 1966 p. 540

2.4.3 Reacciones. “Las reacciones químicas de tolueno industrialmente útiles, son de tres clases, en las que el tolueno se considera, respectivamente, hidruro de bencilo ($C_6H_5CH_2H$), fenilmetano ($C_6H_5CH_3$) o metil benceno ($CH_3C_6H_5$). La principal reacción en las tres clases es la sustitución del hidrógeno. Por ejemplo: el hidrógeno puede ser susituido por un átomo de cloro en el hidruro de bencilo, por tres átomos de hidrógeno en el fenilmetano y por cinco átomos de hidrógeno en el anillo de metilbenceno.

Si la sustitución ocurre en el anillo, las reacciones industrialmente más útiles son las que rinden productos mono y tri sustituidos. Por sustitución de un átomo de hidrógeno en el anillo, son posibles tres isómeros: orto, meta y para.

Cuando dos sustituyentes iguales, distintos del metilo, entran en el anillo son posibles seis isómeros. Cuando tres sustituyentes iguales, distintos del metilo, entran en el anillo, son posibles seis isómeros. Con los dos sustituyentes desiguales, son posibles estructuralmente diez isómeros. Los isómeros con más de un sustituyente se nombran asignando los números del 2 al 6, en sentido directo a los átomos de carbono del anillo a partir del átomo de carbono número 1 que tiene el grupo metilo.

2.4.3.1 Cloración. Para introducir por sustitución átomos de cloro en el grupo metilo del tolueno se hace pasar cloro seco a través del tolueno hirviendo, preferiblemente a luz solar, con lo que se forman progresivamente cloruro de bencilo ($C_6H_5CH_2Cl$) cloruro de benzal ($C_6H_5CHCl_2$) y benzotricloruro ($C_6H_5CCl_3$).

Los átomos de hidrógeno se sustituyen en el anillo de metilbenceno a la temperatura ordinaria por la acción del cloro en ausencia de la luz y en presencia de un catalizador como el yodo, fósforo, azufre, hierro, cloruro férrico, pentacloruro de antimonio y cloruro de aluminio.

2.4.3.2 Sulfonación. Si se trata el tolueno con ácido sulfúrico de 96-100 % a 75 °C, el producto es una mezcla de 75%, 19% y 6% de ácidos toluenosulfónicos para, orto y meta, respectivamente. Sus sales de calcio son solubles en el agua, y esa solubilidad se utiliza para separar el ácido sulfúrico, porque el sulfato de calcio es relativamente insoluble.

2.4.3.3 Nitración. Tres moles de tolueno tratados a 60°C con una mezcla de tres moles de ácido nítrico y tres moles de ácido sulfúrico producen una mezcla que contiene 60% de *o*-nitrotolueno y 30% de *p*-nitrotolueno.

La nitración a 70-90°C de *o*-nitrotolueno rinde 2,4 dinitrotolueno y 2,6- di nitrotolueno, mientras que el *p*-nitrotolueno sólo da 2,4-dinitrotolueno. Ambos productos por su ulterior nitración producen el explosivo TNT, trinitrotolueno.

2.4.4 Usos. El tolueno es un disolvente de aceites, resinas, caucho natural (mezclado con ciclohexano) y sintético, alquitrán de hulla, asfalto, brea y acetilcelulosas (en caliente, mezclado con etanol). También se utiliza como disolvente y diluyente de pinturas y barnices de celulosa y como diluyente de las tintas de fotograbado. Al mezclarse con el agua, forma mezclas azeotrópicas que tienen un efecto deslustrante. El tolueno se encuentra en mezclas que se utilizan como productos de limpieza en distintas industrias y en artesanía. También se utiliza en la fabricación de detergentes y cuero artificial y es una importante materia prima para síntesis orgánicas, como las de cloruro de benzoilo y bencilideno, sacarina, cloramina T, trinitrotolueno y un gran número de colorantes. El tolueno es un componente del combustible para aviones y de la gasolina para automóviles.”⁽⁹⁾

2.5 Xileno

2.5.1 “Generalidades. El xileno (dimetilbenceno), $C_6H_4(CH_3)_2$, peso de fórmula 106.160, es el tercer miembro de la serie aromática de los hidrocarburos, de la que los dos primeros son el benceno y el tolueno. Existen tres xilenos isómeros: orto, meta, para. El etilbenceno $C_6H_5C_2H_5$, es isómero de los xilenos. Los cuatro se presentan juntos ordinariamente como resultado de un equilibrio termodinámico en su fuente de origen. En la industria se aplica el nombre de “xileno”, y frecuentemente “xilol”, a estas mezclas.

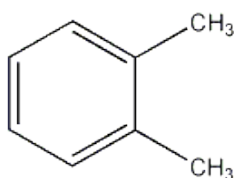


Figura 8: Fórmula Química del Xileno

Los cuatro compuestos son líquidos y volátiles en las condiciones atmosféricas normales y se inflaman por encima de 27°C. Son incoloros, como el agua, cuando están puros, pero son mucho más refringentes a la luz que el agua. Su olor es parecido al del benceno y francamente tolerable.

El xileno fue descubierto por Cahours en 1850 en un destilado de alquitrán de madera. El m-xileno es uno de los productos de la descomposición térmica del pineno, hidrocarburo terpénico obtenido de la trementina de pino. El nombre xilol se deriva del griego xylon, madera y el sufijo “ol”, que significa aceite.

Las principales fuentes industriales del xileno son el petróleo y la hulla. Los usos más importantes del xileno comercial son como disolvente industrial y como componente de la gasolina.”⁽¹⁰⁾

2.5.2 Propiedades Fisicoquímicas

Cuadro 3. Propiedades fisicoquímicas del xileno

Densidad relativa a 20 °C	0,86
Densidad relativa de vapor (aire =1)	3,65
Viscosidad (cp) (20°C)	0.620 cp
Presión de vapor	6 mmHg
Punto de ebullición	138 °C
Punto de fusión	-25 °C
Solubilidad	Insoluble en agua
Miscibilidad	Alcohol, éter y otros compuestos orgánicos

Fuente: KIRK Raymond, Enciclopedia de Tecnología Química. Editorial Hispano-Americano. México. Vol 16. 1966 p. 253

2.5.3 Usos

2.5.3.1 “Para Fines Químicos. La reacción química de mayor importancia industrial para el o-xileno es la conversión en anhídrido ftálico por oxidación. El m-xileno se transforma en ácido isoftálico por oxidación, pero principalmente se somete a nitración como paso intermedio en la manufactura de xilidina. El p-xileno da por oxidación ácido tereftálico, que se utiliza en la fabricación de fibras textiles sintéticas, en particular dacrón.

2.5.3.2 Para fines no Químicos. El xileno de grado de nitración se usa cuando se necesitan hidrocarburos aromáticos como materia prima en un proceso químico. Los otros tres grados de xileno se usan como disolventes industriales. En las refinerías de petróleo se usa alto valor antidetonante.

Gasolina. El valor antidetonante de los cuatro isómeros es elevado, pero con diferencias de importancia. El p-xileno es el que tiene el valor más alto de los tres dimetilbencenos, y en cambio el o-xileno es el de más ajo valor, cuando se comparan por cualquiera de los métodos normalizados para medir el valor antidetonante.

Disolventes. Como disolvente industrial, el xileno tiene las mismas aplicaciones que el tolueno, y la elección de uno u otro ha de determinarse con arreglo a la velocidad de evaporación que convenga en cada caso. El xileno se utiliza como desmanchador en la limpieza en seco para quitar de los tejidos las manchas resistentes después del tratamiento con disolvente Stoddard.

En la elaboración de algunos cauchos sintéticos, como neopreno, perbunán o apracril, cuando es preciso manipularlos como cemento de caucho, se usa xileno como disolvente o como diluyentes de un disolvente activo. El xileno se usa yambien para la impresión en color de fotograbados, en las tintas litográficas en metal que se secan por cocción, en el acabado de la seda y en el estampado sobre telas enceradas.”⁽¹¹⁾

2.6 Evaporación

2.6.1 Generalidades. “Conversión gradual de un líquido en gas sin que haya ebullición. Las moléculas de cualquier líquido se encuentran en constante movimiento. La velocidad media (o promedio) de las moléculas sólo depende de la temperatura, pero puede haber moléculas individuales que se muevan a una velocidad mucho mayor o mucho menor que la media. A temperaturas por debajo del punto de ebullición, es posible que moléculas individuales que se aproximen a la superficie con una velocidad superior a la media tengan suficiente energía para escapar de la superficie y pasar al espacio situado por encima como moléculas de gas.

Como sólo se escapan las moléculas más rápidas, la velocidad media de las demás moléculas disminuye; dado que la temperatura, a su vez, sólo depende de la velocidad media de las moléculas, la temperatura del líquido que queda también disminuye. Es decir, la evaporación es un proceso que enfría; si se pone una gota de agua sobre la piel, se siente frío cuando se evapora. En el caso de una gota de alcohol, que se evapora con más rapidez que el agua, la sensación de frío es todavía mayor.”⁽¹²⁾

La velocidad de evaporación de un solvente es una de las dudas más comunes y más difíciles de resolver por los restauradores y químicos. Esta velocidad de evaporación depende de un gran número de factores a veces contradictorios entre sí.

2.6.2 Presión o tensión de vapor de saturación. “Un líquido ubicado en un recipiente abierto o extendido en una superficie, se evapora progresivamente hasta que todas las moléculas en estado líquido hallan pasado al estado vapor.

Si se cierra herméticamente el recipiente, se establece un equilibrio entre el líquido y su vapor. Después de cierto tiempo el vapor alcanza una presión característica para cada líquido a una temperatura determinada. Es la presión de vapor de saturación, que corresponde al número de moléculas que pasa del estado vapor al estado líquido e inversamente se equilibran para mantener esta presión constante a temperatura determinada.

Mientras más elevada es la presión de vapor de saturación, más moléculas en estado de vapor existirán en un recipiente cerrado. En un recipiente abierto, el líquido se evaporará por lo tanto mucho más rápido.

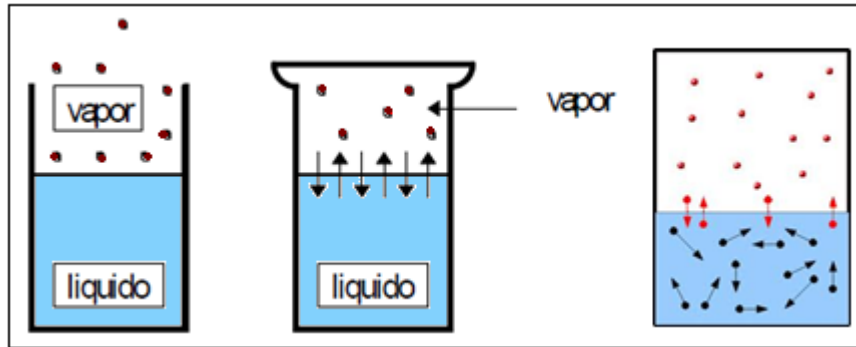


Figura 9. Presión de vapor de un líquido

En el dibujo se representa un recipiente cerrado, lleno parcialmente de un líquido (azul). Este líquido como toda sustancia está constituida por moléculas (bolitas negras), que están en constante movimiento al azar en todas direcciones. Este movimiento errático, hace que se produzcan choques entre ellas, de estos choques las moléculas intercambian energía, algunas aceleran, mientras otras se frenan.

En este constante choque e intercambio de energía, algunas moléculas pueden alcanzar tal velocidad, que si están cerca de la superficie pueden saltar del líquido (bolitas rojas) al espacio cerrado exterior como gases.

A este proceso de conversión lenta de los líquidos a gases se les llama evaporación.

A medida que más y más moléculas pasan al estado de vapor, la presión dentro del espacio cerrado sobre el líquido aumenta, este aumento no es indefinido, y hay un valor de presión para el cual por cada molécula que logra escapar del líquido necesariamente regresa una de las gaseosas a él, por lo que se establece un equilibrio y la presión no sigue subiendo. Esta presión se conoce como Presión de Vapor Saturado.

Presión en milímetros de mercurio del vapor en equilibrio con su forma líquida o sólida a 20 °C. Indica la tendencia de una sustancia a formar vapor. Cuanto mayor es la presión de vapor, mayor es la concentración de vapor producida por la sustancia. En función de la presión de vapor (mmHg a 20° C) se clasifica la volatilidad del producto como:

Presión de vapor, mm Hg	Volatilidad
< 1	Muy Poco Volátil
1 - 30	Poco Volátil
300 - 100	Volátil
100 – 500	Muy Volátil
> 500	Extremadamente volátil

- *Presión de vapor saturado*

Depende de dos factores:

La naturaleza del líquido

La temperatura

- *Influencia de la naturaleza del líquido*

El valor de la presión de vapor saturado de un líquido, da una idea clara de su volatilidad, los líquidos más volátiles (éter, gasolina, acetona etc) tienen una presión de vapor saturado más alta, por lo que este tipo de líquidos, confinados en un recipiente cerrado, mantendrán a la misma temperatura, una presión mayor que otros menos volátiles. Eso explica por qué, a temperatura ambiente en verano, cuando destapamos un recipiente con gasolina, notamos que hay una presión considerable en el interior, mientras que si el líquido es por ejemplo; agua, cuya presión de vapor saturado es más baja, apenas lo notamos cuando se destapa el recipiente.

- *Influencia de la temperatura*

Del mismo modo, habremos notado que la presión de vapor de saturación crece con el aumento de la temperatura, de esta forma si colocamos un líquido poco volátil como el agua en un recipiente y lo calentamos, obtendremos el mismo efecto del punto anterior, es decir una presión notable al destaparlo.

La relación entre la temperatura y la presión de vapor saturado de las sustancias, no es una línea recta, en otras palabras, si se duplica la temperatura, no necesariamente se duplicará la presión, pero si se cumplirá siempre, que para cada valor de temperatura, habrá un valor fijo de presión de vapor saturado para cada líquido. La explicación de este fenómeno puede basarse en el aumento de energía de las moléculas al calentarse.

Cuando un líquido se calienta, estamos suministrándole energía. Esta energía se traduce en aumento de velocidad de las moléculas que lo componen, lo que a su vez significa, que los choques entre ellas serán más frecuentes y violentos.

Es fácil darse cuenta entonces, que la cantidad de moléculas que alcanzarán suficiente velocidad para pasar al estado gaseoso será mucho mayor, y por tanto mayor también la presión.

2.6.3 Ebullición. La presión (o tensión) de vapor aumenta con la temperatura. Así la temperatura de ebullición de un líquido corresponde al valor de la tensión de vapor, que es igual a la presión exterior sobre este líquido, cual sea el valor de esta presión. La ebullición es en efecto, una forma particular de evaporación que se produce en el interior del líquido.

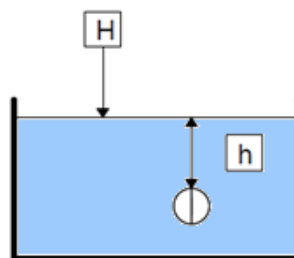


Figura 10. Ebullición de un líquido

Tenemos una burbuja de aire a profundidad h dentro de un líquido. Esta burbuja existe porque la presión existente al interior compensa la presión exterior, cuya parte más importante es la presión atmosférica H .

Cuando se calienta, la presión al interior de la burbuja aumenta. En el momento donde alcanza el valor de la presión atmosférica, sube a la superficie donde revienta suficiente aire para que así se formen otras burbujas: Es la ebullición.

Para un cuerpo puro, la temperatura de ebullición se mantiene constante durante toda la ebullición, mientras por supuesto la presión exterior no varíe.

En una mezcla de solventes, por el contrario, la temperatura a la cual la presión de vapor alcance el valor de la presión exterior, dependerá de la composición de la mezcla. Normalmente, es el compuesto más volátil el que se evapora más rápido y el líquido se enriquece con el compuesto menos volátil. La t° de ebullición entonces aumenta progresivamente.

La temperatura de ebullición es una de las primeras características para clasificar los solventes.

Se distinguen entre los de bajo punto de ebullición ($< a 100^\circ\text{C}$),
los de mediano punto de ebullición (entre 100°C y 150°C)
y los solventes de alto punto de ebullición (más de 150°C).

Al igual que con las presiones de vapor, no se puede relacionar directamente la temperatura de ebullición a la velocidad de evaporación.

Un ejemplo característico es el del propanol que hierve a 97°C .

Se evapora sin embargo, dos veces menos rápido que el acetato propileno que hierve a 101°C .

2.6.4 Calor Latente de Evaporación

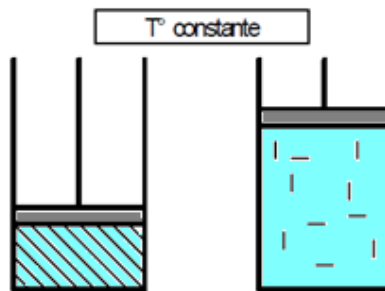


Figura 11. Calor Latente de Evaporación

Pensemos en un espacio mantenido a una T° constante. Pongamos ahí un recipiente que contiene un líquido sellado por un pistón (bien hermético). Si se levanta lentamente el pistón, el líquido pasará progresivamente al estado de vapor y en un momento determinado no quedará ninguna gota de líquido. A todo lo largo de esta evaporación, el termostato ha tenido que aportar el calor necesario para mantener la T° constante, ya que la evaporación conlleva un enfriamiento.

La cantidad total de calor aportado para que un gramo de líquido sea convertido totalmente al estado de vapor constante es llamado calor latente de evaporación de ese líquido. Varía según la presión atmosférica.

Para poder ser volátil, un solvente debe presentar a la vez:

- a.- Una presión de vapor de saturación elevada.
- b.- Un bajo punto de ebullición.
- c.- Un bajo Calor latente de vaporización.

Cuadro 4. Parámetros que influyen la “volatilidad” de un solvente

solventes	presión de vapor en mm Hg a 20 °C	temperatura de ebullición a 760 mm Hg	calor latente de vaporización en cal.
agua	17,5	100	540
éter	440	34,6	86
diclorometano	440	41	78,7
sulfuro de carbono	360	46	82
formiato de etilo	200	54	97
acetona	178	56,2	125
cloroformo	160	61,3	59
metanol	100	65	262,8
benceno	74	80	94
acetato de etilo	73	77	87
etanol	40	78	204,3
heptano	40	98,2	76
isooctano	40 a 38	99,3	
tolueno	37	110,6	83
isopropanol	33	82,4	159
p-xileno	10	138	81
diacetonalcohol	1	168	111
etilenglicol	0,06	197	191
glicerol	0,0025	210	

Fuente:MASSCHELEIN Liliane [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [Fecha de consulta: 09 de Marzo del 2012]. Disponible en: <http://dglab.cult.gva.es/Archivos/Pdf/DIBAMsolventes.pdf>

2.6.4 La conductividad Térmica. El calor se transmite de un cuerpo caliente a un cuerpo frío o de una zona más caliente a una zona más fría de un mismo cuerpo. Este proceso ocurre más o menos rápido según la capacidad de ese o esos cuerpos de ser más o menos conductores del calor. Ciertas sustancias como los metales son muy conductores, otros como el vidrio y la madera lo son menos y pueden servir de aislante térmico.

Un solvente que para evaporarse necesita un aporte de calor, lo tomara mucho más fácilmente del medio ambiente si es conductor del calor.

Es necesario tomar en cuenta que si la evaporación ocurre muy bruscamente, esto provocará un fuerte y brusco enfriamiento que puede frenar la continuación del proceso.”⁽¹³⁾

2.7 Pérdidas por Evaporación

Las pérdidas de extractantes tienen gran importancia en la viabilidad económica de una planta. Estas ocurren principalmente por evaporación, solubilidad o entrapamiento durante el proceso, almacenamiento, manipulación, etc.”⁽¹⁴⁾

2.7.1 Pérdidas por evaporación en tanques de almacenamiento. Las pérdidas por evaporación en tanques de almacenamiento son de las pérdidas más significativas y son calculadas para realización del presente estudio tomando en consideración la siguiente información:

- Tipo del líquido almacenado
- Temperatura del líquido almacenado
- Tiempo de almacenamiento
- Propiedades físico químicas del líquido
- Área de la superficie del líquido
- Área del apertura del recipiente

2.7.2. Pérdidas por evaporación en la manipulación. Dentro de este tipo de pérdidas están consideradas las de:

- Bombeo
- Transporte
- Envasado

2.7.3. Pérdidas por evaporación en operaciones industriales. Este tipo de pérdidas son las más comunes dentro de los procesos productivos en una industria y son ocasionadas principalmente por el movimiento continuo del fluido (agitación), al que está sometido el líquido dentro de un proceso ya sean en tanques agitadores o mezcladores.

2.7.3.1 Tanque Agitado. Los tanques agitadores o tanques mezcladores son equipos donde se realiza una mezcla de componentes y cuando ocurre una reacción química se llama reactor químico.

En un tanque agitador se puede realizar las siguientes operaciones unitarias:

- Mezcla de líquidos miscibles
- Dispersión de un gas en un líquido
- Mezcla o dispersión de líquidos no miscibles
- Dispersión y emulsificación de líquidos no miscibles
- Apoya para la transferencia de calor entre un líquido y una superficie intercambiadora de calor
- Suspensión, reducción de tamaño y dispersión de partículas sólidas en un líquido.
Dilución de un sólido en un líquido
- Reducir el tamaño de partículas aglomeradas

2.7.3.2. Turbulencia. En términos de la dinámica de fluidos, **turbulencia** o flujo turbulento es un régimen de flujo caracterizado por baja difusión de momento, alta convección y cambios espacio – temporales rápidos de presión y velocidad. Los flujos no turbulentos son también llamados flujos laminares. Un flujo se puede caracterizar como laminar o turbulento observando el orden de magnitud del número de Reynolds.

La turbulencia puede ser medida o estimada aparte del número de Reynolds por medio de parámetros como el movimiento masivo o difusión de Taylor, la intensidad y la escala de turbulencia.

La turbulencia, se convierte en un régimen al cual está sometido el líquido estableciéndose que este estado genera una alta convección por lo que podríamos advertir que favorecería a la evaporación en el caso de los líquidos.

2.7.3.3. Número de Reynolds (Re). Es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para *caracterizar el movimiento de un fluido*.

El número de Reynolds se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D_a^2 * n * \rho}{\mu} \quad (1)$$

Dónde:

D_a = diámetro del agitador, m

n = velocidad del agitador, rad/s

ρ = densidad del fluido, kg/m³

μ = viscosidad, Pa.s

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).”(15)

2.8 Análisis de Regresión Multivariable

2.8.1 Generalidades. “Se conoce como análisis de regresión Multivariable al método estadístico que permite establecer una relación matemática entre un conjunto de variables X_1, X_2, \dots, X_k (covariantes o factores) y una variable dependiente Y .

El objetivo de un modelo de regresión es obtener una ecuación que nos permita "predecir" el valor de Y una vez conocidos los valores de X_1, X_2, \dots, X_k . Se conocen como modelos predictivos.

2.8.2. Regresión Múltiple. Los modelos probabilísticos en los que intervienen x^2 y x^3 (o términos con potencias más elevadas) o más que una variable independiente se llaman modelos de regresión múltiple. La forma general de estos modelos es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots \dots \beta_k x_k + \epsilon \quad (2)$$

Dónde:

Y = Variable dependiente.

x_i = Variables independientes.

β_0 = Origen cuando todas las variables independientes son 0.

β_i = Pendiente o coeficiente de regresión de la variable i .

ϵ = Componente de Error

Ahora la variable dependiente Y se expresa como función de k variables independientes x_1, x_2, \dots, x_k . Se suma el término de error aleatorio para tener en cuenta la desviación entre la parte determinista del modelo, $\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots \dots \beta_k x_k$, y el valor de la variable dependiente Y . el componente aleatorio hace que el modelo sea probabilístico y no determinista.

El valor del coeficiente β_i determina la contribución de la variable independiente x_i y β_0 es la ordena al origen de Y . En general, se desconocen los coeficientes β_0 y β_1, \dots, β_k porque representan parámetros de la población.

A primera vista parecería que el modelo de regresión que se esbozó no puede permitir nada más que relaciones en forma de línea recta entre Y y las variables independientes, cosa que no es verdad. En realidad, x_1, x_2, \dots, x_k pueden ser funciones de variables, siempre y cuando no contenga parámetros desconocidos.”⁽¹⁶⁾

En el caso del modelo de regresión múltiple son aplicables los pasos que se siguieron para desarrollar un modelo de línea recta.

Paso 1. Primero, proponer la forma del modelo. Esto significa seleccionar las variables independientes que debe incluir el modelo.

Paso 2. A continuación, estimar los parámetros desconocidos β_0 y β_1, \dots, β_k

Paso 3. Especificar la distribución de probabilidad del componente aleatorio de error ε y estimar su varianza σ^2 .

Paso 4. En cuarto lugar, comprobar lo adecuado del modelo

Paso 5. Por último emplear el modelo ajustado para estimar el valor promedio de Y o para predecir un valor determinado de Y para valores dados de las variables independientes.

Primero se consideran los pasos 2 al 5 y se deja al último el problema más difícil de la construcción del modelo.

2.8.3 Ajuste del modelo: Método de los Mínimos Cuadrados. El ajuste del modelo se realiza por el método de mínimos cuadrados.

El valor que el modelo estimado predice es:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (3)$$

Y el error cometido en esa predicción es:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k) \quad (4)$$

Donde $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$, son los valores estimados del modelo.

El criterio de mínimos cuadrados asigna a $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ el valor que minimiza la suma de errores al cuadrado de todas las observaciones.

Notación:

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad \hat{Y} = \begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \vdots \\ \hat{y}_n \end{pmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} \quad \hat{\beta} = \begin{pmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{pmatrix} \quad e = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

X es la denominada matriz de diseño, de dimensión $n \times (k+1)$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \cdots & x_{kn} \end{pmatrix} = (\vec{1}, \vec{X}_1, \vec{X}_2, \dots, \vec{X}_k), \text{ siendo } \vec{X}_j = \begin{pmatrix} x_{j1} \\ x_{j2} \\ \vdots \\ x_{jn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

2.8.3.1 Forma matricial del modelo. La expresión matricial del modelo de regresión múltiple es la siguiente:

$$Y = X\beta + \mu \quad (7)$$

El modelo estimado puede expresarse en forma matricial:

$$Y = X\hat{\beta} \quad (8)$$

$$Y - \hat{Y} = e \quad (9)$$

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - ((\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{1i} + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki}))$$

Son los parámetros estimados del modelo

(10)

Como en regresión simple, el criterio de mínimos cuadrados asigna a los parámetros del modelo el valor que minimiza la suma de errores al cuadrado de todas las observaciones.

La suma de errores al cuadrado es

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{1i} + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki}) \right)^2 \quad (11)$$

Al igual que en regresión simple, la estrategia que seguimos para calcular el mínimo de S es:

- Derivar S con respecto a los parámetros.
- Igualar a cero cada derivada
- Resolver el sistema de ecuaciones que resulta (y en el que la incógnitas vienen dadas por los k+1 parámetros que queremos estimar).

En forma matricial se tiene:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (12)$$

La regresión de multivariantes se puede determinar por los siguientes programas: Excel, Matlab y SPSS.

Los modelos de regresión múltiple que son lineales en los parámetros desconocidos (los β) se llaman modelos lineales, aun cuando puedan contener variables independientes no lineales.

2.8.4 Estimación de σ^2 , la varianza de ϵ . “El estimador de σ^2 se usa para comprobar lo adecuado del modelo como para dar una medida de la confiabilidad de los predictores y estimaciones cuando se emplea el modelo para esos fines.

$$s^2 = ECM = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - y_1^2}{n - (\text{número de parámetros estimados})} \quad (13)$$

$$s^2 = ECM = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - y_1^2}{n - (k+1)} \quad (14)$$

s^2 es el error cuadrático promedio, error cuadrático medio (ECM) o promedio de error al cuadrado.

2.8.5 Correlación Múltiple. Una correlación múltiple es el coeficiente de correlación entre una variable criterio (y) y la combinación lineal de las variables llamadas predictoras (x) que también se pueden denominar, y es más claro, variables independientes.

La combinación lineal es la suma algebraica de las variables predictoras o independientes ponderadas por sus coeficientes beta.

La correlación múltiple se simboliza como R e incluye el cálculo de los coeficientes beta de cada variable.

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}} \quad (15)$$

2.8.6 Coeficiente de Determinación. “Para determinar una medida estadística que cuantifique lo bien que ajusta el modelo de regresión múltiple a un conjunto de datos, se usa el equivalente de r^2 , el coeficiente de determinación en el modelo de línea recta, para el caso de la regresión múltiple. Así se define el Coeficiente de determinación múltiple R^2 como.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (16)$$

Donde \hat{y}_i es el valor predicho de y_i para el modelo. R^2 representa la fracción de la variación en la muestra de los valores de y que explica la ecuación de predicción de los cuadrados mínimos. Así, si $R^2=0$, quiere decir que falta por completo el ajuste del modelo a los datos, y si $R^2=1$ quiere decir que se trata de un ajuste perfecto, y que la gráfica del modelo pasa por todos los puntos del diagrama de dispersión.

En general, mientras mayor sea el valor de R^2 , mejor será el ajuste del modelo a los datos. R^2 es una medida estadística de la muestra que indica qué tan bien se ajusta el modelo a los datos, y con ello representa una medida de la adecuación del modelo. El hecho de que R^2 sea una medida estadística de la muestra significa que se puede emplear para hacer inferencias acerca de la utilidad de todo el modelo para predecir la población de valores de y en cada conjunto de las variables independientes.”⁽¹⁷⁾

2.8.7 Prueba de la utilidad de un modelo de regresión múltiple: Prueba F Global

Cuando se tiene una prueba de hipótesis:

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$

H_a : por lo menos uno de los coeficientes es distinto de cero.

$$\text{Medida estadística de prueba} = F = \frac{R^2 * k}{1 - R^2 / n - k + 1} \quad (17)$$

n es el número de datos y k es el número de parámetros en el modelo, excluyendo a β_0 . La medida estadística de prueba F tendrá la distribución de probabilidad F con k grados de libertad en el numerador y $[n - (k + 1)]$ en el denominador.

La medida estadística de la prueba F se hace grande a medida que aumenta el valor del coeficiente de determinación R^2 . Para determinar qué tan grande debe ser F antes de poder llegar a la conclusión, en determinado nivel de significación, que el modelo es útil para predecir y , se establece la región de rechazo como sigue:

Región de rechazo: $F > F_{\alpha}(k, n - (k + 1))$

F verifica la validez del modelo de regresión Múltiple.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Sustancias y Reactivos

- Tolueno $C_6H_5CH_3$
- Xileno $C_6H_4(CH_3)_2$

3.2 Equipos y Materiales

- Cámara de calentamiento
- Recipiente
- Termómetros (Ap $\pm 0,5^\circ\text{C}$); (Rango: -25°C a 55°C)
- Probeta (Ap $\pm 0,1\text{ml}$); (Rango: 0 – 100ml)
- Pipeta (Ap $\pm 0,1\text{ml}$); (Rango: 0 – 10ml)
- Balanza (Ap $\pm 0,01\text{g}$); (Rango: 0 – 310g)
- Agitador Magnético (Rango: 0 – 1100 rpm)
- Cronómetro (Ap $\pm 0,01\text{s}$)
- Calibrador (Ap $\pm 0,01\text{ cm}$)
- Campana Extractora de gases
- Focos de horno (60Watt)
- Regulador de Intensidad de luz (Dimer)

3.3 Procedimiento

3.3.1 Definición de Términos

3.3.1.1 Almacenamiento. Se considera al recipiente cerrado que se encuentra almacenado en bodegas o galpones, el modelo matemático que posteriormente será obtenido servirá para el cálculo de pérdidas de peso en estas condiciones.

3.3.1.2 Sistema Estático. Se entiende como sistema estático al recipiente abierto que se encuentra en espera antes de ser usado en un proceso productivo, el modelo matemático que posteriormente será obtenido servirá para el cálculo de pérdidas de peso en estas condiciones.

3.3.1.3 Sistema Dinámico. Se entiende por sistema dinámico al recipiente abierto que contiene el solvente sometido a una agitación, considerando esto a proceso productivo del solvente, el modelo matemático que posteriormente será obtenido servirá para el cálculo de pérdidas de peso en estas condiciones.

3.3.2 Desarrollo de la experimentación. Con ayuda del calibrador determinar los diámetros del recipiente que se va a usar en la experimentación que permitirá calcular las áreas de superficie de líquido y abertura del recipiente

3.3.2.1 Pérdidas por evaporación en el Almacenamiento

- Construir la cámara de calentamiento, en la que se incorpora una fuente de calor externo (foco), con un regulador de intensidad para obtener un calentamiento ligero y así lograr controlar la temperatura adecuada.
- Colocar tres muestras de tolueno, cuyos recipientes estarán cerrados y tendrán el mismo peso de tolueno
- Colocar el termómetro en la cámara de calentamiento que permita evidenciar las condiciones de temperatura a las que estarán expuestas las muestras.
- Con ayuda del regulador de intensidad de luz en el foco, conseguir 3 temperaturas logrando mantenerlas constante (T_1 , T_2 y T_3), durante el tiempo de trabajo, registrar la temperatura de operación.
- Pesar cada muestra a diario por 8 días.
- Repetir el mismo procedimiento para el xileno.

3.3.2.2 Pérdidas por evaporación en el Sistema Estático

- Realizar similar procedimiento, con la diferencia de que los recipientes se mantienen abiertos.
- Determinar la cantidad de tolueno evaporado al registrar datos de pérdida de peso por cada 60 minutos, durante 480 minutos.
- Repetir el procedimiento para el Xileno

- Todo lo anterior debe ser desarrollado en el interior de una campana de gases por seguridad y evitar la contaminación.

3.3.2.3 Pérdidas por evaporación en el Sistema Dinámico)

- Realizar similar procedimiento, con la diferencia de que se somete la muestra de tolueno a agitación.
- Determinar la cantidad de tolueno evaporado al registrar datos de pérdida de peso por cada 60min, durante 240 minutos para diversos regímenes de agitación (60, 300 y 900 rpm) con ayuda del agitador magnético.
- Repetir el procedimiento para el Xileno.
- El desarrollo del trabajo se debe realizar en el interior de un extractor o campana de gases.
- Tabular los resultados

3.3 Diseño Experimental

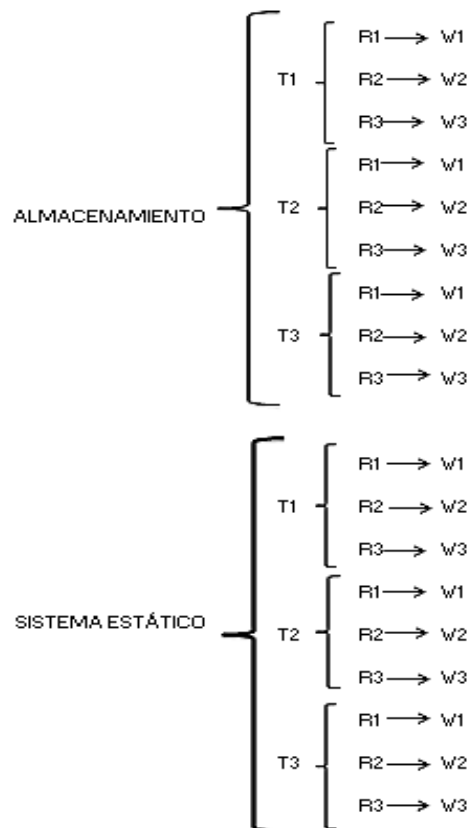


Figura 12. Diseño Experimental para el Almacenamiento y el Sistema Estático

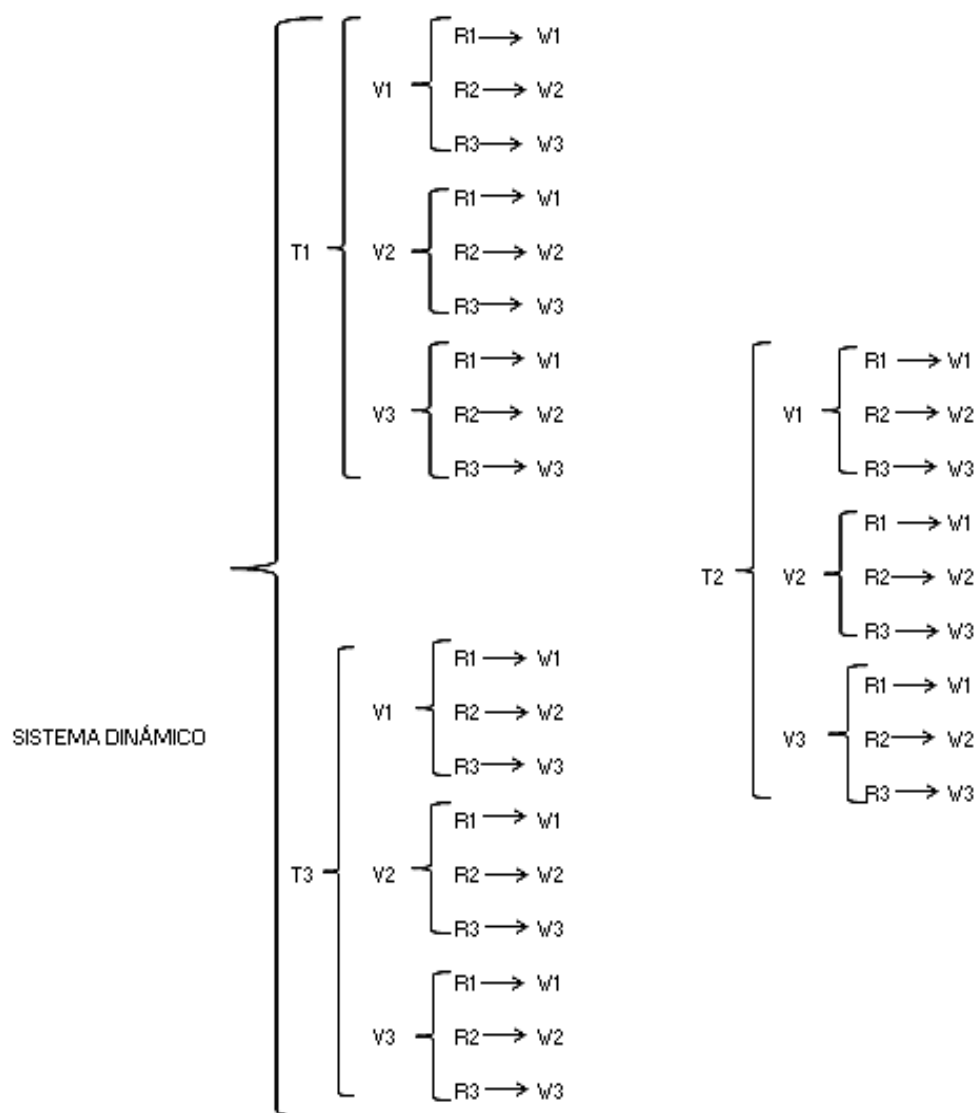


Figura 13. Diseño Experimental para el Sistema Dinámico

Dónde:

T1, T2 y T3: Temperaturas de experimentación 19, 23 y 26 °C respectivamente

R1, R2 y R3: Réplicas

W1, W2 y W3, Pesos registrados en cada replica

V1, V2 y V3: Velocidades de agitación correspondientes a 60, 300 y 900 rpm

3.5 Simbología

Cuadro 5. Simbología utilizada, variables de la parte experimental

Variables	Simbología
Temperatura absoluta del sistema (°C)	T
Presión Atmosférica (mmHg)	P
Peso inicial del solvente (g)	W_i
Peso final del solvente (g)	W_F
Peso evaporado (g)	W_E
Diámetro de la superficie del líquido (cm)	D
Diámetro de la abertura (cm)	d
Área de evaporación del líquido	A
Revoluciones por minuto	rpm
Tiempo de evaporación (min), (días)	t
Densidad del líquido (Kg/m^3)	ρ
Viscosidad cinemática (Pa.s)	μ
Velocidad del agitador (rev/s)	n
Diámetro del agitador (m)	Da
Numero de Reynolds	Re
Presión de vapor (atm)	Pv
Flujo másico ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{min}$)	N_a

3.6 Datos Experimentales

3.6.1 Para la condición de Almacenamiento

Cuadro 6. Datos Registrados Experimentalmente para el Tolueno

T, °C	19	23	26
t, días	W, g	W, g	W, g
0	240,00	240,00	240,00
1	239,63	239,55	239,52
2	239,24	239,11	239,07
3	238,86	238,69	238,58
4	238,49	238,25	238,11
5	238,11	237,81	237,64
6	237,72	237,40	237,16
7	237,32	236,95	236,71
8	236,97	236,51	236,23

Cuadro 7. Datos Registrados Experimentalmente para el Xileno

T, °C	19	23	26
t, días	W, g	W, g	W, g
0	240,00	240,00	240,00
1	239,67	239,64	239,62
2	239,33	239,28	239,25
3	238,99	239,02	238,89
4	238,65	238,57	238,50
5	238,33	238,20	238,14
6	237,99	237,86	237,74
7	237,64	237,53	237,38
8	237,30	237,18	237,04

3.6.2 Para el Sistema Estático

Cuadro 8. Datos Registrados Experimentalmente para el Tolueno

T, °C	19	23	26
t, min	W, g	W, g	W, g
0	240,00	240,00	240,00
60	239,76	239,74	239,75
120	239,52	239,44	239,40
180	239,31	239,18	239,06
240	239,10	238,91	238,74
300	238,85	238,62	238,41
360	238,64	238,34	238,10
420	238,40	238,05	237,77
480	238,20	237,77	237,46

Cuadro 9. Datos Registrados experimentalmente para el Xileno

T, °C	19	23	26
t, min	W, g	W, g	W, g
0	240,00	240,00	240,00
60	239,91	239,90	239,88
120	239,85	239,81	239,75
180	239,74	239,68	239,64
240	239,64	239,62	239,54
300	239,54	239,52	239,41
360	239,46	239,41	239,30
420	239,37	239,30	239,21
480	239,31	239,22	239,09

3.6.3 Para el Sistema Dinámico

Cuadro 10. Datos registrados experimentalmente para el Tolueno

	60 RPM			300 RPM			900 RPM		
T, °C	19	23	26	19	23	26	19	23	26
t, min	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g
0	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00
30	239,92	239,86	239,78	239,81	239,80	239,72	239,78	239,69	239,56
60	239,74	239,71	239,59	239,63	239,56	239,43	239,54	239,38	239,12
90	239,62	239,56	239,41	239,44	239,36	239,07	239,26	239,07	238,71
120	239,43	239,42	239,18	239,25	239,12	238,85	238,95	238,76	238,27
150	239,31	239,28	238,99	239,06	238,92	238,54	238,66	238,45	237,86
180	239,15	239,13	238,77	238,88	238,74	238,27	238,41	238,14	237,41
210	239,01	238,99	238,58	238,69	238,52	237,97	238,14	237,83	236,99
240	238,88	238,52	238,39	238,50	238,30	237,71	237,87	237,52	236,55

Cuadro 11. Datos registrados experimentalmente para el Xileno

	60 RPM			300 RPM			900 RPM		
T, °C	19	23	26	19	23	26	19	23	26
t, min	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g	W, g
0	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00
30	239,93	239,90	239,88	239,88	239,86	239,86	239,80	239,80	239,84
60	239,87	239,81	239,79	239,76	239,73	239,70	239,63	239,62	239,67
90	239,79	239,71	239,66	239,64	239,59	239,56	239,43	239,42	239,52
120	239,70	239,61	239,57	239,53	239,45	239,43	239,24	239,23	239,35
150	239,64	239,52	239,46	239,38	239,31	239,26	239,04	239,04	239,20
180	239,57	239,43	239,36	239,26	239,18	239,13	238,87	238,84	239,03
210	239,50	239,32	239,26	239,13	239,04	239,01	238,65	238,65	238,88
240	239,44	239,22	239,17	239,01	238,90	238,85	238,45	238,46	238,71

4. CALCULOS Y RESULTADOS

4.1 Cálculo de las pérdidas por evaporación del Tolueno y Xileno para el Almacenamiento

4.1.1 Cálculo del área de evaporación del líquido

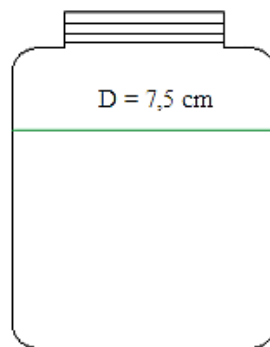


Figura 14. Representación del recipiente usado en la experimentación

$$A = \pi r^2 \quad (18)$$

$$A = \pi \frac{7,5cm}{2}^2$$

$$A = 44,18 \text{ cm}^2$$

4.1.2 Cálculo del peso evaporado

$$W_E = W_i - W_F \quad (19)$$

Dónde:

W_E = Peso evaporado, g

W_i = Peso inicial del solvente, g

W_F = Peso final del solvente, g

- Cálculo modelo para el Tolueno; para $t = 1$ día y $T = 19^{\circ}\text{C}$

$$W_E = 240g - 239,63g$$

$$W_E = 0,37g$$

- Cálculo modelo para el Xileno; para $t = 1$ día y $T = 19^{\circ}\text{C}$

$$W_E = 240g - 239,67g$$

$$W_E = 0,33g$$

4.1.3 Cálculo de la relación W_E/A

- Cálculo modelo para el Tolueno; para $t = 1$ día y $T = 19^{\circ}\text{C}$

$$\frac{W_E}{A} = \frac{0,37g}{44,18 \text{ cm}^2}$$

$$\frac{W_E}{A} = 0,0084 \text{ g/cm}^2$$

- Cálculo modelo para el Xileno; para $t = 1$ día y $T = 19^{\circ}\text{C}$

$$\frac{W_E}{A} = \frac{0,33g}{44,18 \text{ cm}^2}$$

$$\frac{W_E}{A} = 0,0075 \text{ g/cm}^2$$

4.1.4 Cálculo del Flujo Másico (N_a). Para el cálculo del flujo másico se realiza el Diagrama W_E/A versus tiempo de almacenamiento, donde la pendiente (m) representa el flujo másico (N_a).

$$m = N_a = \frac{W_E}{(A \cdot t)} \quad (20)$$

Dónde:

N_a = Flujo Másico (pendiente de evaporación), g/cm²*min

A = Área de evaporación del líquido en el recipiente, cm²

t = tiempo de almacenamiento, días

- Para el Tolueno a $T = 19^\circ\text{C}$.

$$m = N_a = 0,008627 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$$

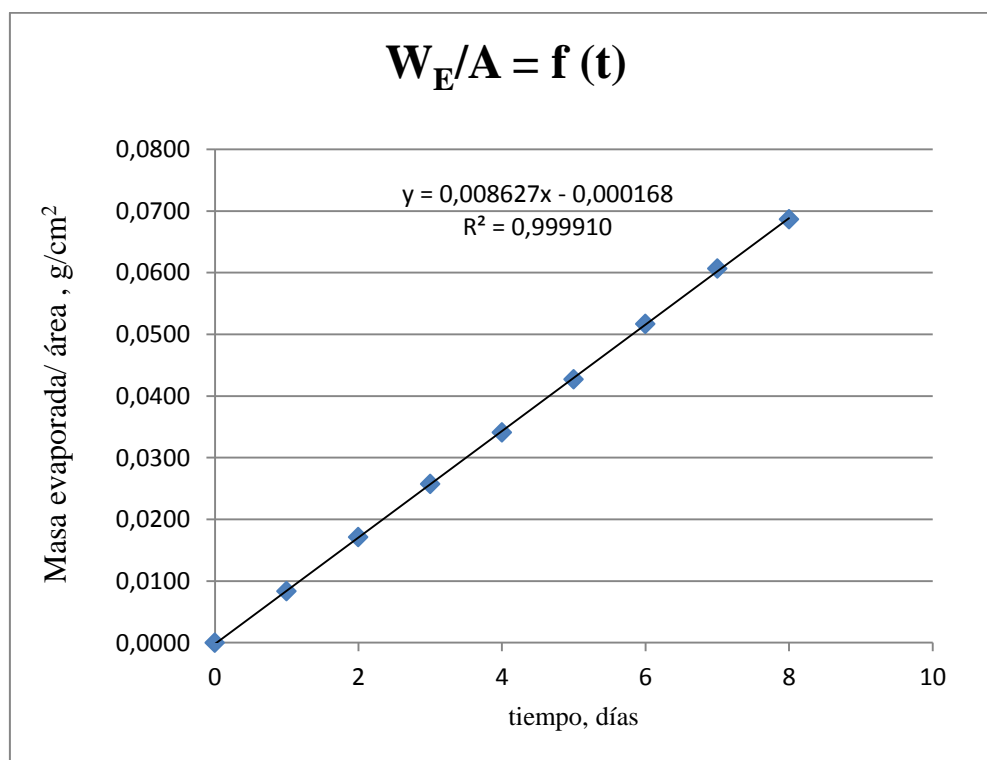


Gráfico 3. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Tolueno a 19°C en el Almacenamiento

- Para el Xileno a $T = 19^\circ\text{C}$

$$m = N_a = 0,007623 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$$

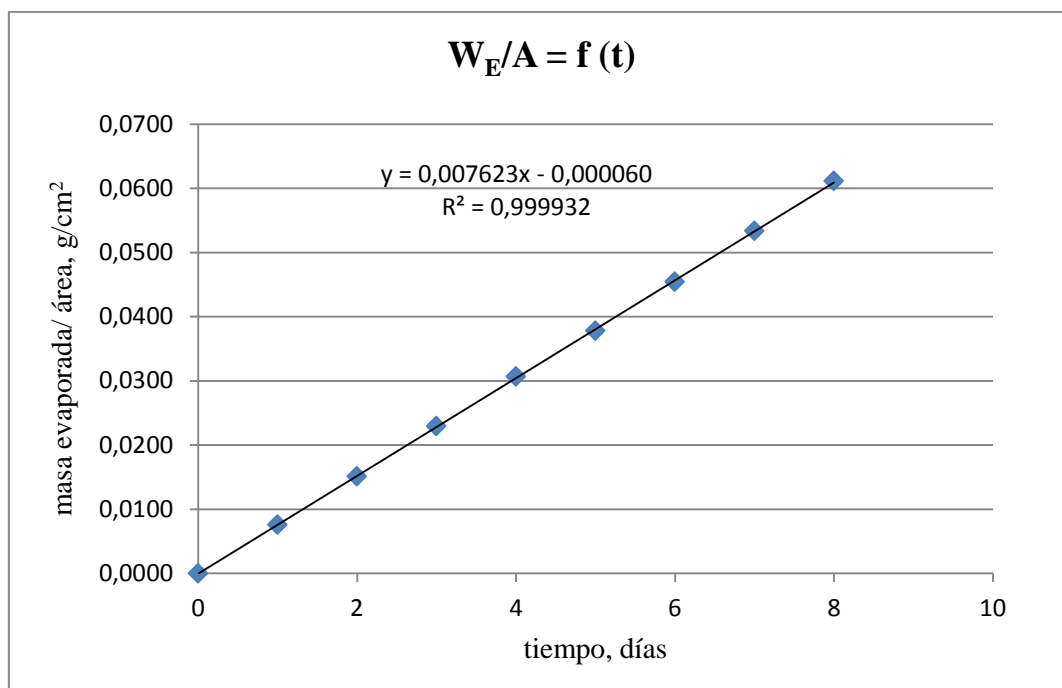


Gráfico 4. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Xileno a 19°C en el Almacenamiento

4.2. Cálculo de las pérdidas por evaporación del Tolueno y Xileno, en Sistema Estático.

4.2.1 Cálculo del área de evaporación. Se calcula la media logarítmica del área para hallar una relación entre las dos áreas.

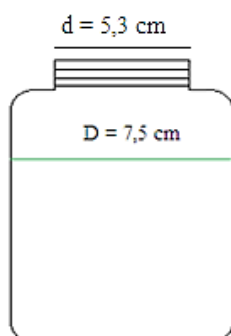


Figura 15. Representación del recipiente usado en la experimentación

Área de la superficie del líquido (A_m) = 44,17 cm²

Área de la abertura del recipiente (a_m) = 22,06 cm²

$$A = \frac{A_m - a_m}{\ln \frac{A_m}{a_m}} \quad (21)$$

Dónde:

A_m = Área de la superficie del líquido, cm^2

a_m = Área de la abertura del recipiente, cm^2

A = Área de evaporación, siendo esta un área media, cm^2

$$A = \frac{44,17\text{cm}^2 - 22,06\text{cm}^2}{\ln \frac{44,17\text{cm}^2}{22,06\text{cm}^2}}$$

$$A = 31,85\text{cm}^2$$

4.2.1 Cálculo de la masa evaporada

$$W_E = W_i - W_F \quad (22)$$

- Cálculo modelo para el Tolueno a $t = 60 \text{ min}$ y $T = 19^\circ\text{C}$

$$W_E g = 240g - 239,76g$$

$$W_E = 0,24g$$

- Cálculo modelo para el Xileno a $t = 60 \text{ min}$ y $T = 19^\circ\text{C}$

$$W_E = 240g - 239,91g$$

$$W_E = 0,09g$$

4.2.2 Cálculo de la relación W_E/A

- Cálculo modelo para el Tolueno, para $t = 60 \text{ min}$ y $T = 19^\circ\text{C}$

$$\frac{W_E}{A} = \frac{0,24g}{31,85\text{cm}^2}$$

$$\frac{W_E}{A} = 0,0075 \text{ g/cm}^2$$

- Cálculo modelo para el Xileno, para $t = 60 \text{ min}$ y $T = 19^\circ\text{C}$

$$\frac{W_E}{A} = \frac{0,09g}{31,85 \text{ cm}^2}$$

$$\frac{W_E}{A} = 0,0028 \text{ g/cm}^2$$

4.2.3 Cálculo del Flujo Másico (N_a)

- Para el cálculo del flujo másico del Tolueno se realiza el Diagrama W_E/A versus tiempo.

Para $T = 19^\circ\text{C}$ Se tiene que

$$m = N_a = 0,000118 \text{ g/cm}^2 * \text{min}$$

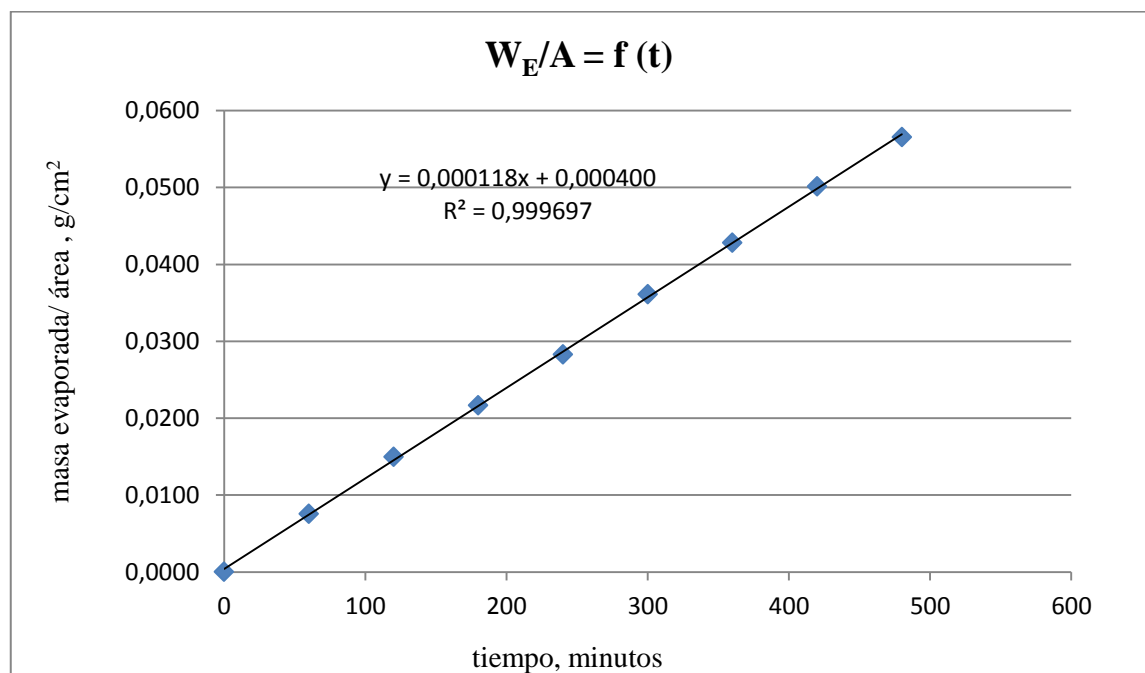


Gráfico 5. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el tolueno a 19°C en el Sistema Estático

- Para el cálculo del flujo másico del Xileno se realiza el Diagrama W_E/A versus tiempo.

Para $T = 19^\circ\text{C}$. Se tiene que:

$$m = Na = 0,00004660\text{g/cm}^2 \cdot \text{min}$$

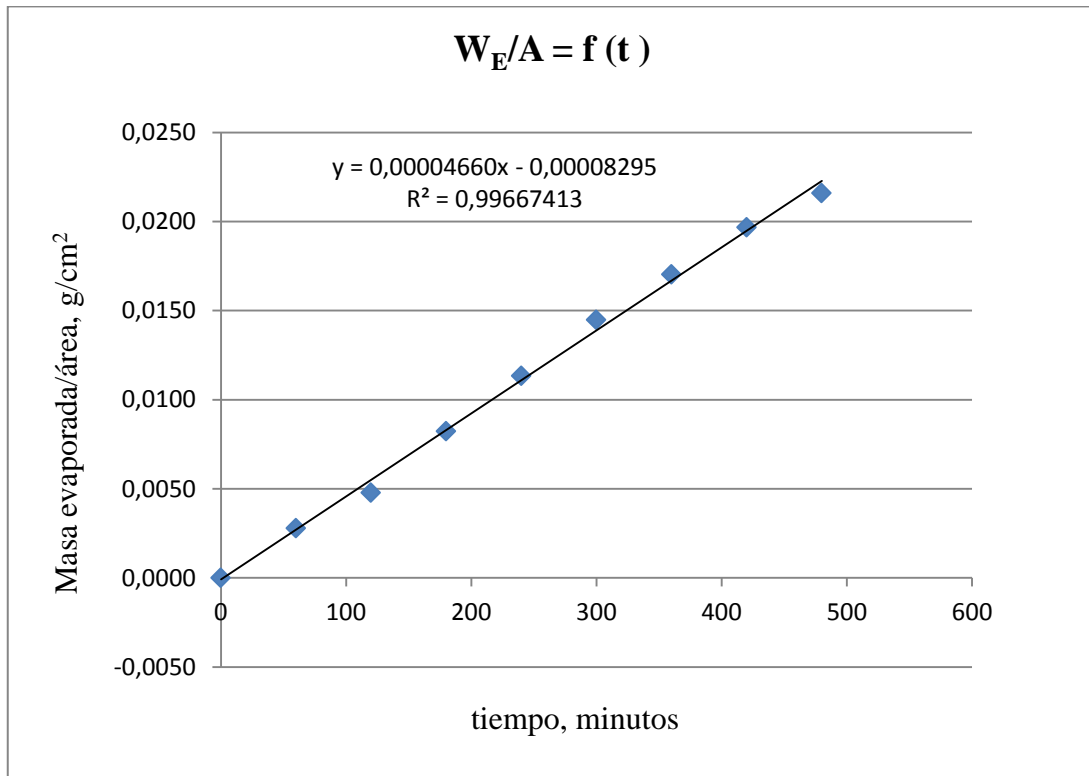


Gráfico 6. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Xileno a 19°C en el Sistema Estático

4.3. Cálculo de las pérdidas por evaporación del Tolueno y Xileno, en Sistema Dinámico.

- Datos Adicionales para el cálculo del Número de Reynolds (agitación)

Cuadro 12. Datos del Agitador

Diámetro, m	0,025
RPM	60, 300, 900

Cuadro 13. Propiedades físicas para el Tolueno

T, °C	Densidad, Kg/m ³	Viscosidad, Pa.s
19	870,30	5,87x10 ⁻⁴
23	866,60	5,61x10 ⁻⁴
26	863,80	5,42x10 ⁻⁴

Fuente: CARDENAS Jorge, Yarango A. “Tablas de Termodinámica”, Editorial Isabel, Lima Perú p. 59

Cuadro 14. Propiedades físicas para el Xileno

T(°C)	Densidad (Kg/m ³)	Viscosidad (Pa.s)
19	866	6,70x10 ⁻⁴
23	862	6,32x10 ⁻⁴
26	859	6,08x10 ⁻⁴

Fuente: CARDENAS Jorge, Yarango A. “Tablas de Termodinámica”, Editorial Isabel, Lima Perú p. 59

4.3.1 Cálculo del área de evaporación

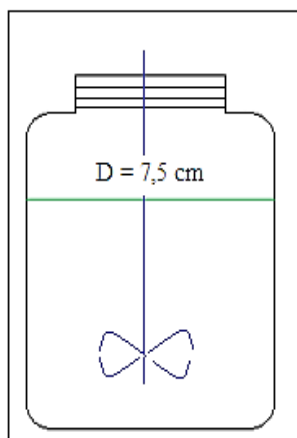


Figura 16. Representación del recipiente usado en la experimentación

$$A = \pi r^2(23)$$

$$A = \pi \frac{7,5cm}{2}^2$$

$$A = 44,18 \text{ cm}^2$$

4.3.2. Cálculo del Número de Reynolds

$$Re = \frac{D_a^2 * n * \rho}{\mu} \quad (24)$$

Dónde:

Re: Número de Reynolds

D_a : Diámetro del agitador (m)

n: Revoluciones del agitador (rpm/60s)

ρ : Densidad del líquido (Kg/m³)

μ : Viscosidad del líquido (Pa.s)

- Cálculo modelo del Número de Reynolds para el Tolueno, con n = 60rpm y T = 19°C

$$Re = \frac{0,025m^2 * \frac{60rpm}{60s} * \frac{870,30Kg}{m^3}}{5,87 \times 10^{-4} Pa.s}$$

$$Re = 927$$

- Cálculo modelo del Número de Reynolds para el Xileno, con n = 60rpm y T = 19°C

$$Re = \frac{0,025m^2 * \frac{60rpm}{60s} * \frac{866Kg}{m^3}}{6,7 \times 10^{-4} Pa.s}$$

$$Re = 808$$

Cuadro 15. Números de Reynolds para el Tolueno utilizados es la experimentación

T	δ	μ	Da,	n	Re
°C	Kg/m³	Pa,s	m	rpm	
19	870,3	5,87E-04	0,025	60	927
				300	4.633
				900	13.900
23	866,6	5,61E-04	0,025	60	965
				300	4.827
				900	14.482
26	863,8	5,42E-04	0,025	60	996
				300	4.980
				900	14.941

Cuadro 16. Números de Reynolds para el Xileno utilizados en la experimentación

T	δ	μ	Da,	n	Re
°C	Kg/m³	Pa,s	m	rpm	
19	866	6,70E-04	0,025	60	808
				300	4.039
				900	12.118
23	862	6,32E-04	0,025	60	852
				300	4.262
				900	12.787
26	859	6,08E-04	0,025	60	883
				300	4.415
				900	13.245

4.3.3 Cálculo del peso evaporado a determinados regímenes de Turbulencia

$$W_E = W_i - W_F \quad (25)$$

- Cálculo modelo para el Tolueno a $t = 30 \text{ min}$, $Re = 927$ y $T = 19^\circ\text{C}$

$$W_E = 240g - 239,92g$$

$$W_E = 0,08g$$

- Cálculo modelo para el Xileno a $t = 30 \text{ min}$, $Re = 808$ y $T = 19^\circ\text{C}$

$$W_E = 240g - 239,93g$$

$$W_E = 0,07g$$

4.3.4 Cálculo de la relación W_E/A , a determinados regímenes de turbulencia.

- Cálculo modelo para el Tolueno, para $t = 30 \text{ min}$, $T = 19^\circ\text{C}$ y $Re = 927$

$$\frac{W_E}{A} = \frac{0,08g}{44,18 \text{ cm}^2}$$

$$\frac{W_E}{A} = 0,0017 \text{ g/cm}^2$$

- Cálculo modelo para el Xileno, para $t = 30 \text{ min}$, $T = 19^\circ\text{C}$ y $Re = 808$

$$\frac{W_E}{A} = \frac{0,07g}{44,18 \text{ cm}^2}$$

$$\frac{W_E}{A} = 0,0015 \text{ g/cm}^2$$

4.3.5 Cálculo del Flujo Másico (N_a) a los diferentes regímenes de turbulencia

- Para el cálculo del flujo másico del Tolueno se realiza el Diagrama W_E/A versus tiempo de agitación.

Para $T = 19^{\circ}\text{C}$ y $\text{Re} = 927$. Se tiene que:

$$m = N_a = 0,000110 \text{ g/cm}^2 * \text{min}$$

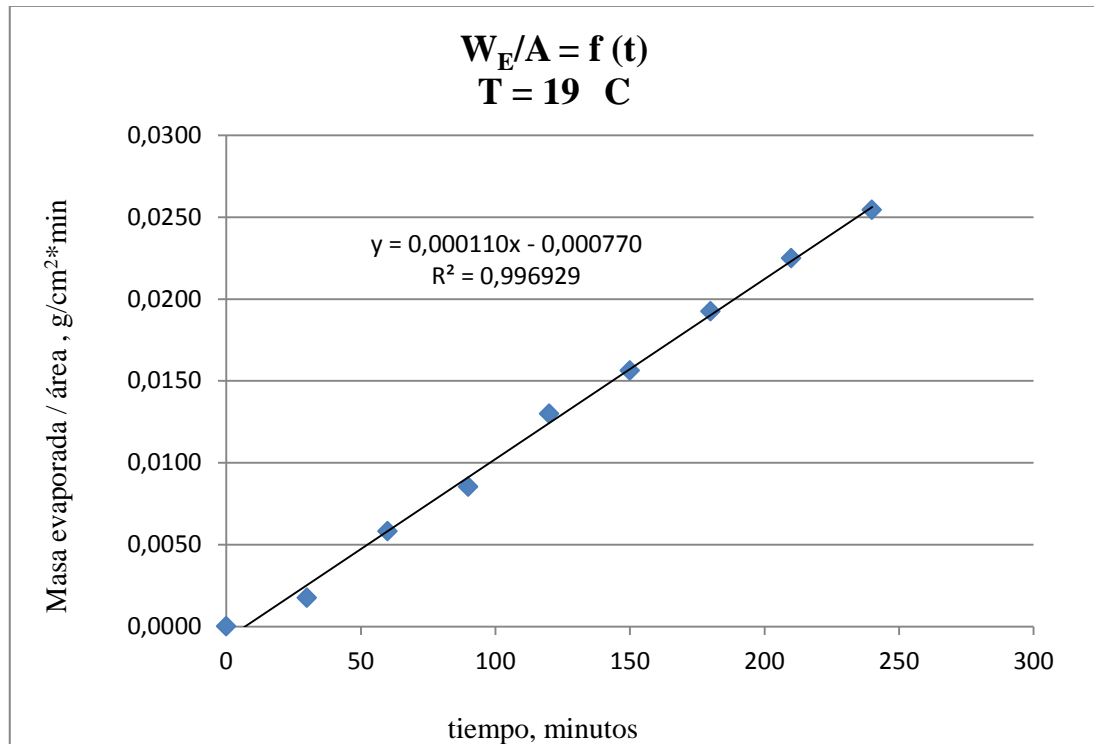


Gráfico 7. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Tolueno a 19°C y $\text{Re} = 927$

- Para el cálculo del flujo másico del Xileno se realiza el Diagrama W_E/A versus tiempo de agitación

Para $T = 19^{\circ}\text{C}$, $\text{Re} = 808$. Se tiene que:

$$m = N_a = 0,00005365 \text{ g/cm}^2 * \text{min}$$

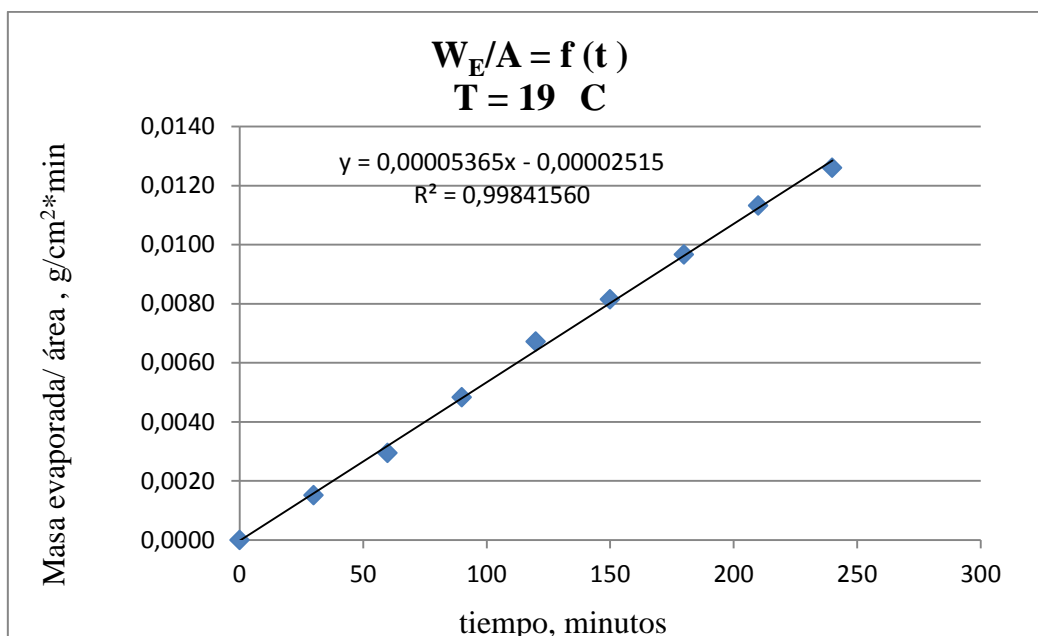


Gráfico8: Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Xileno a 19°C y Re = 808

4.4. Resultados de pérdidas por evaporación y relación W_E/A para el Almacenamiento para el Tolueno y el Xileno

Cuadro 17. Resultados de: peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Tolueno

	T = 19°C		T = 23°C		T = 26°C	
	A = 44,18 cm²		A = 44,18 cm²		A = 44,18 cm²	
tiempo	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A
días	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²
0	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000
1	0,37	0,0084	0,45	0,0103	0,48	0,0109
2	0,76	0,0171	0,89	0,0201	0,93	0,0211
3	1,14	0,0257	1,31	0,0297	1,42	0,0322
4	1,51	0,0341	1,75	0,0395	1,89	0,0428
5	1,89	0,0427	2,19	0,0495	2,36	0,0535
6	2,28	0,0517	2,60	0,0589	2,84	0,0644
7	2,68	0,0607	3,05	0,0690	3,29	0,0744
8	3,03	0,0687	3,49	0,0790	3,77	0,0854

Cuadro 18. Resultados de: peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Xileno

	T = 19°C A = 44,18 cm²		T = 23°C A = 44,18 cm²		T = 26°C A = 44,18 cm²	
tiempo	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A
días	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²
0	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000
1	0,33	0,0075	0,36	0,0081	0,38	0,0085
2	0,67	0,0151	0,72	0,0164	0,75	0,0170
3	1,01	0,0229	0,98	0,0221	1,11	0,0252
4	1,35	0,0306	1,43	0,0323	1,50	0,0340
5	1,67	0,0378	1,80	0,0407	1,86	0,0422
6	2,01	0,0454	2,14	0,0485	2,26	0,0511
7	2,36	0,0533	2,47	0,0560	2,62	0,0594
8	2,70	0,0611	2,82	0,0638	2,96	0,0669

4.5 Resultados de pérdidas por evaporación y relación W_E/A en Sistema Estático

Cuadro 19. Resultados de: peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Tolueno

	T = 19°C A = 31,85 cm²		T = 23°C A = 31,85cm²		T = 26°C A = 31,85cm²	
tiempo	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A
días	g	g/cm ²	G	g/cm ²	g	g/cm ²
0	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000
60	0,24	0,0075	0,26	0,0083	0,25	0,0080
120	0,48	0,0150	0,56	0,0177	0,60	0,0189
180	0,69	0,0217	0,82	0,0258	0,94	0,0294
240	0,90	0,0283	1,09	0,0341	1,26	0,0395
300	1,15	0,0361	1,38	0,0433	1,59	0,0499
360	1,36	0,0428	1,66	0,0522	1,90	0,0595
420	1,60	0,0501	1,95	0,0612	2,23	0,0701
480	1,80	0,0565	2,23	0,0700	2,54	0,0797

Cuadro 20. Resultados del peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Xileno

	T = 19°C A = 31,85 cm²		T = 23°C A = 31,85 cm²		T = 26°C A = 31,85 cm²	
tiempo	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A
días	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²
0	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000
60	0,09	0,0028	0,10	0,0030	0,12	0,0039
120	0,15	0,0048	0,19	0,0059	0,25	0,0077
180	0,26	0,0082	0,32	0,0099	0,36	0,0112
240	0,36	0,0113	0,38	0,0120	0,46	0,0145
300	0,46	0,0145	0,48	0,0152	0,59	0,0184
360	0,54	0,0170	0,59	0,0185	0,70	0,0220
420	0,63	0,0197	0,70	0,0219	0,79	0,0248
480	0,69	0,0216	0,78	0,0245	0,91	0,0287

4.6 Resultados de pérdidas por evaporación y relación W_E/A en Sistema Dinámico

Cuadro 21. Resultados de: peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Tolueno a diferentes regímenes de turbulencia

	T = 19 °C Área = 44,18 cm ²						T = 23 °C Área = 44,18 cm ²						T = 26 °C Área = 44,18 cm ²					
	Re = 927		Re = 4633		Re = 13900		Re = 965		Re = 4827		Re = 14482		Re = 996		Re = 4980		Re = 14941	
tiempo	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A
min	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²
0	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000
30	0,08	0,0017	0,19	0,0043	0,22	0,0051	0,14	0,0032	0,20	0,0045	0,31	0,0070	0,22	0,0051	0,28	0,0064	0,44	0,0100
60	0,26	0,0058	0,37	0,0084	0,46	0,0105	0,29	0,0066	0,44	0,0100	0,62	0,0140	0,41	0,0092	0,57	0,0130	0,88	0,0199
90	0,38	0,0085	0,56	0,0127	0,74	0,0168	0,44	0,0100	0,64	0,0144	0,93	0,0211	0,59	0,0134	0,93	0,0211	1,29	0,0293
120	0,57	0,0130	0,75	0,0170	1,05	0,0238	0,58	0,0131	0,88	0,0200	1,24	0,0281	0,82	0,0186	1,15	0,0261	1,73	0,0392
150	0,69	0,0156	0,94	0,0213	1,34	0,0303	0,72	0,0163	1,08	0,0244	1,55	0,0351	1,01	0,0229	1,46	0,0330	2,14	0,0484
180	0,85	0,0192	1,12	0,0254	1,59	0,0360	0,87	0,0197	1,26	0,0286	1,86	0,0421	1,23	0,0278	1,73	0,0392	2,59	0,0586
210	0,99	0,0225	1,31	0,0297	1,86	0,0421	1,01	0,0229	1,48	0,0335	2,17	0,0491	1,42	0,0321	2,03	0,0460	3,01	0,0682
240	1,12	0,0254	1,50	0,0340	2,13	0,0483	1,16	0,0263	1,70	0,0386	2,48	0,0561	1,61	0,0364	2,29	0,0519	3,45	0,0782

Cuadro 22. Resultados de: peso evaporado (W_E) y relación W_E/A para el Xileno a diferentes regímenes de turbulencia

	T = 19 °C Área = 44,18 cm ²						T = 23 °C Área = 44,18 cm ²						T = 26 °C Área = 44,18 cm ²					
	Re = 808		Re = 4039		Re = 12118		Re = 852		Re = 4262		Re = 12787		Re = 883		Re = 4415		Re = 13245	
tiempo	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A	W_E	W_E/A
min	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²	g	g/cm ²
0	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000
30	0,07	0,0015	0,12	0,0027	0,20	0,0045	0,10	0,0023	0,14	0,0032	0,20	0,0045	0,12	0,0028	0,14	0,0032	0,16	0,0035
60	0,13	0,0029	0,24	0,0054	0,37	0,0084	0,19	0,0043	0,27	0,0061	0,38	0,0086	0,21	0,0048	0,30	0,0067	0,33	0,0075
90	0,21	0,0048	0,36	0,0081	0,57	0,0130	0,29	0,0066	0,41	0,0093	0,58	0,0131	0,34	0,0076	0,44	0,0100	0,48	0,0108
120	0,30	0,0067	0,47	0,0107	0,76	0,0172	0,39	0,0088	0,55	0,0124	0,77	0,0174	0,43	0,0098	0,57	0,0130	0,65	0,0146
150	0,36	0,0081	0,62	0,0141	0,96	0,0217	0,48	0,0109	0,69	0,0156	0,96	0,0217	0,54	0,0121	0,74	0,0167	0,80	0,0181
180	0,43	0,0097	0,74	0,0168	1,13	0,0257	0,57	0,0129	0,82	0,0186	1,16	0,0263	0,64	0,0144	0,87	0,0196	0,97	0,0220
210	0,50	0,0113	0,87	0,0198	1,35	0,0305	0,68	0,0154	0,96	0,0217	1,35	0,0306	0,74	0,0168	0,99	0,0224	1,12	0,0254
240	0,56	0,0126	0,99	0,0223	1,55	0,0351	0,78	0,0177	1,10	0,0249	1,54	0,0349	0,83	0,0189	1,15	0,0260	1,29	0,0292

4.7 Tratamiento Estadístico

4.7.1. *Tratamiento Estadístico para el Tolueno y Xileno en Almacenamiento.*

- Obtención de las pendientes que representan el Flujo Másico ($m=Na$) de los gráficos $W_E/A = f(t)$ para el Tolueno

Cuadro 23. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (Na) para cada temperatura (Tolueno) obtenidas del gráfico 9

T, °C	m=Na, g/cm2,dia
19	0,008627
23	0,009826
26	0,010663

- Obtención de las pendientes que representan el Flujo Másico ($m=Na$) de los gráficos $W_E/A = f(t)$ para el Xileno

Cuadro 24. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (Na) para cada temperatura (Xileno) obtenidas del Gráfico 10

T, °C	m=Na, g/cm2,dia
19	0,007623
23	0,008024
26	0,008424

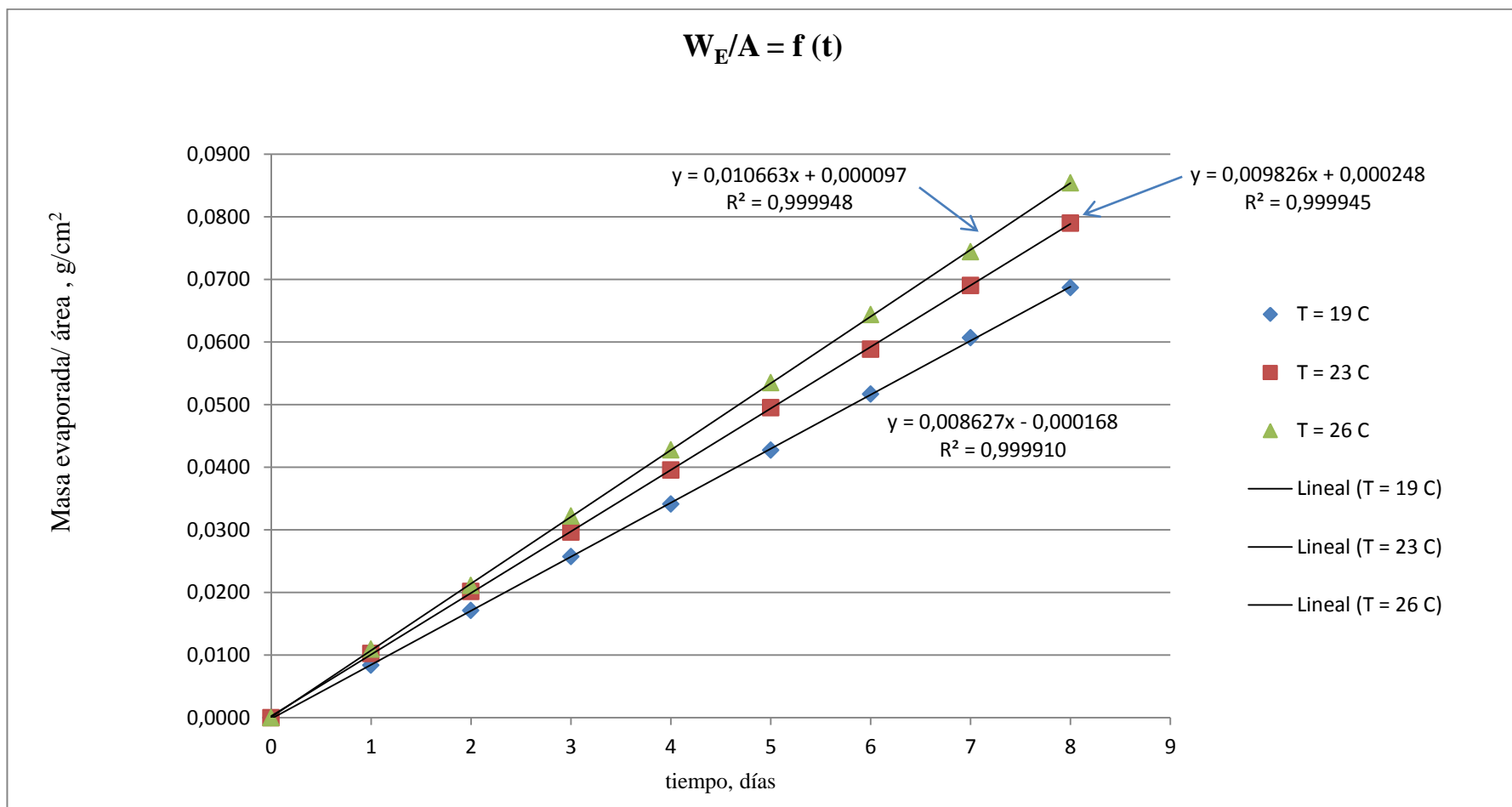


Gráfico 9. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Tolueno a diferentes Temperaturas en el Almacenamiento

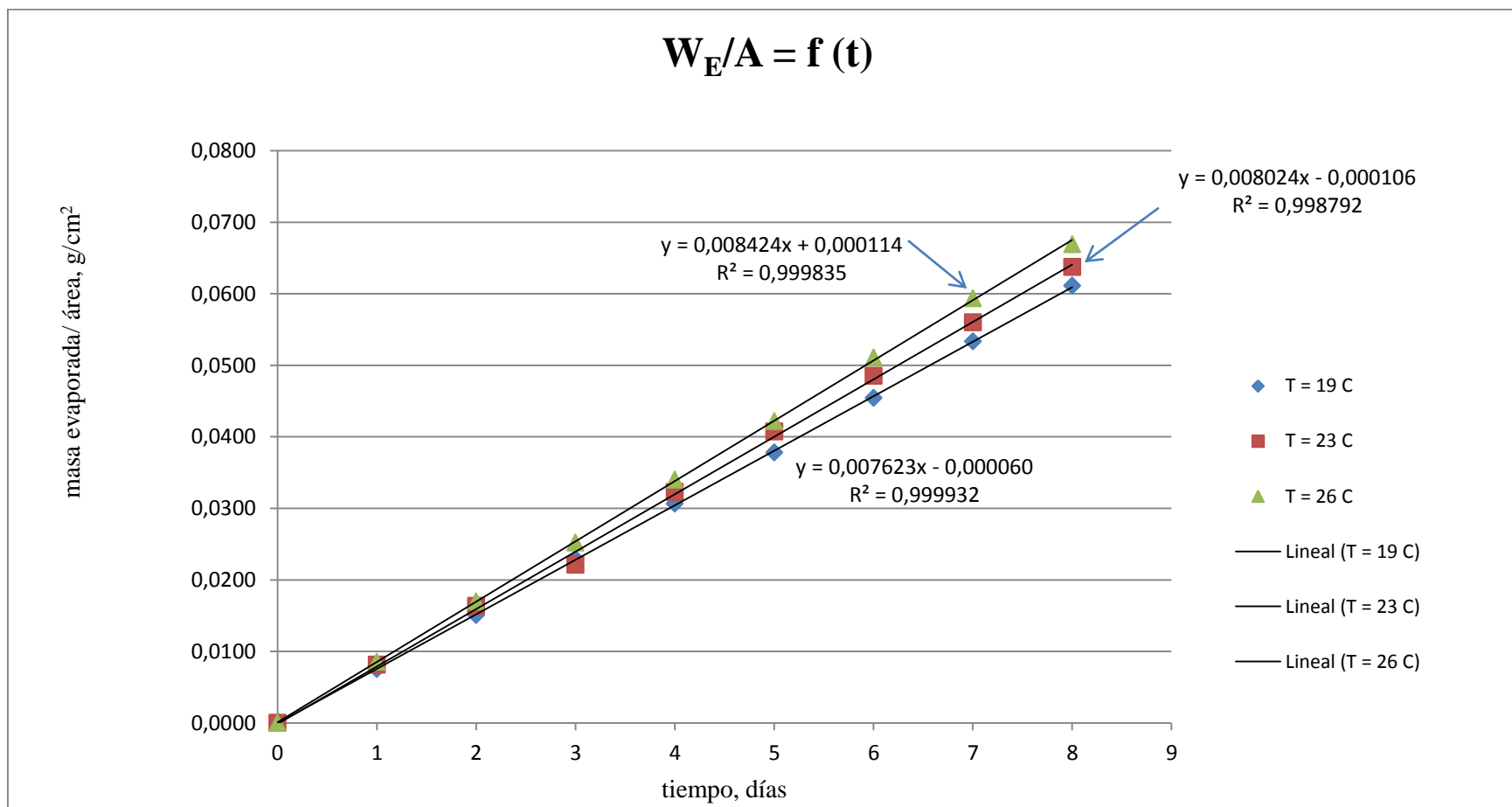


Gráfico 10. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Xileno a diferentes Temperaturas en el Almacenamiento

- Se grafica $N_a = f(T)$ de donde se obtiene la pendiente de evaporación

Pendiente de evaporación para el Tolueno obtenida del Gráfico 11

$$m = 0,000291 * T + 0,003102 \quad (26)$$

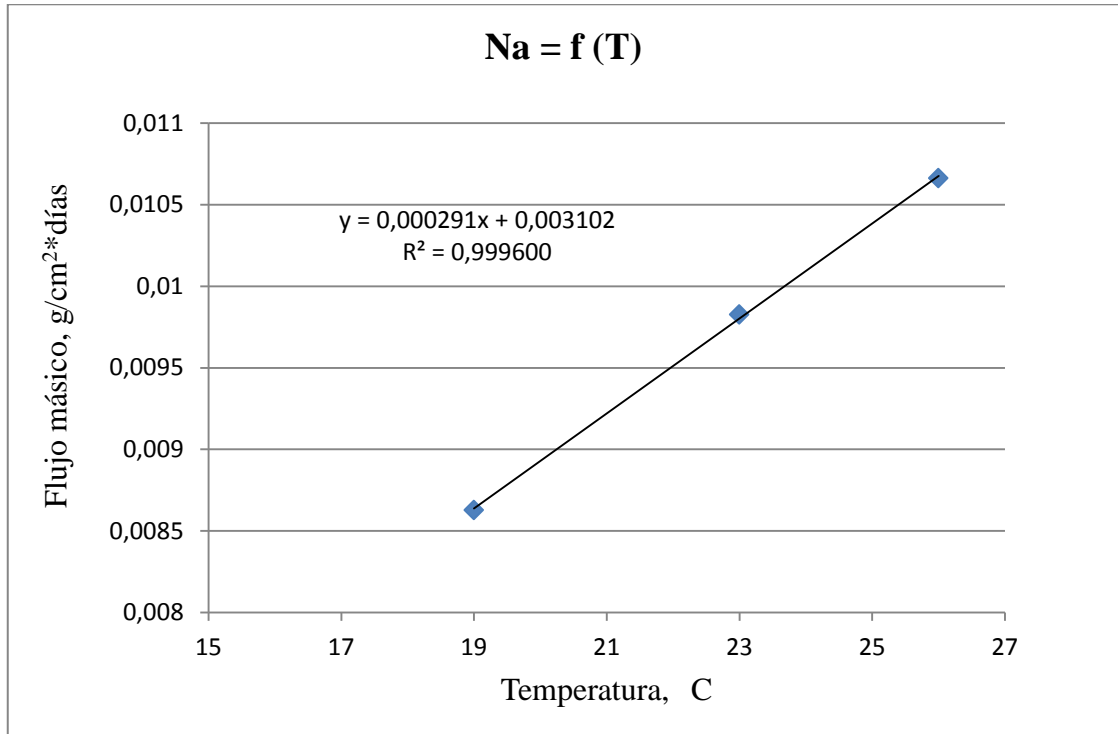


Gráfico 11. Flujo másico en función de la Temperatura para el Tolueno en el Almacenamiento

Pendiente de evaporación para el Xileno obtenida del Gráfico 12

$$m = 0,00011366 * T + 0,00544732 \quad (27)$$

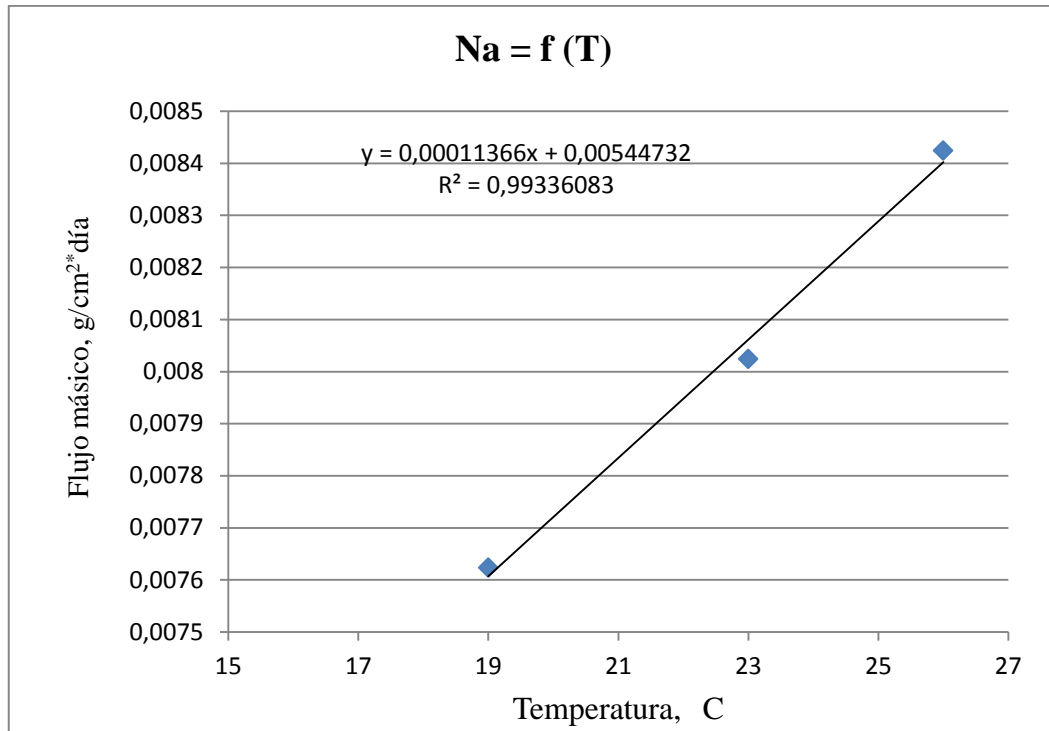


Gráfico 12. Flujo másico en función de la Temperatura para el Xileno en el Almacenamiento

- Modelo Matemático

Para el Tolueno

$$W_E = m * A * t \quad (28)$$

$$W_E = 0,000291 * T + 0,003102 * A * t \quad (29)$$

Dónde:

W_E = Peso evaporado, g

T = Temperatura, °C

A = Área de Evaporación, cm²

t = tiempo, días

Para el Xileno

$$W_E = m * A * t \quad (30)$$

$$W_E = 0,00011366 * T + 0,00544732 * A * t \quad (31)$$

Dónde:

W_E = Peso evaporado, g

T = Temperatura, °C

A = Área de Evaporación, cm^2

t = tiempo, días

4.7.2 Tratamiento Estadístico para el Tolueno y el Xileno en Sistema Estático

- Obtención de las pendientes que representan el Flujo Másico ($m=Na$) de los gráficos $W_E/A = f(t)$

Cuadro 25. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (Na) para cada temperatura (Tolueno) obtenidos del Gráfico 13

T, °C	m=Na, g/cm²,dia
19	0,000118
23	0,000146
26	0,000169

Cuadro 26. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (Na) para cada temperatura (Xileno) obtenidos del Gráfico 14

T, °C	m=Na, g/cm²,dia
19	0,00004678
23	0,0000514
26	0,00005922

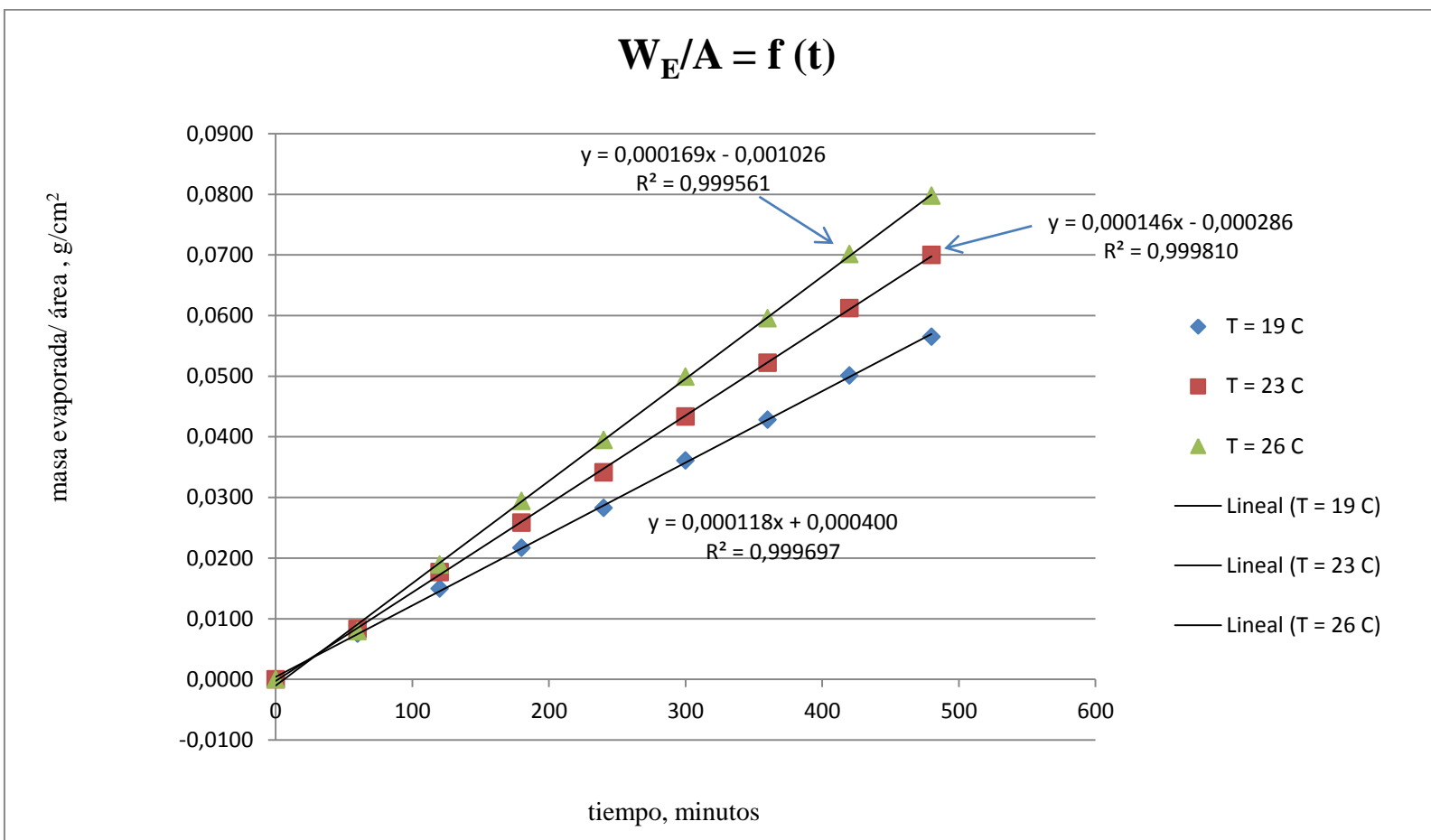


Gráfico 13. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Tolueno a diferentes Temperaturas para el Sistema Estático

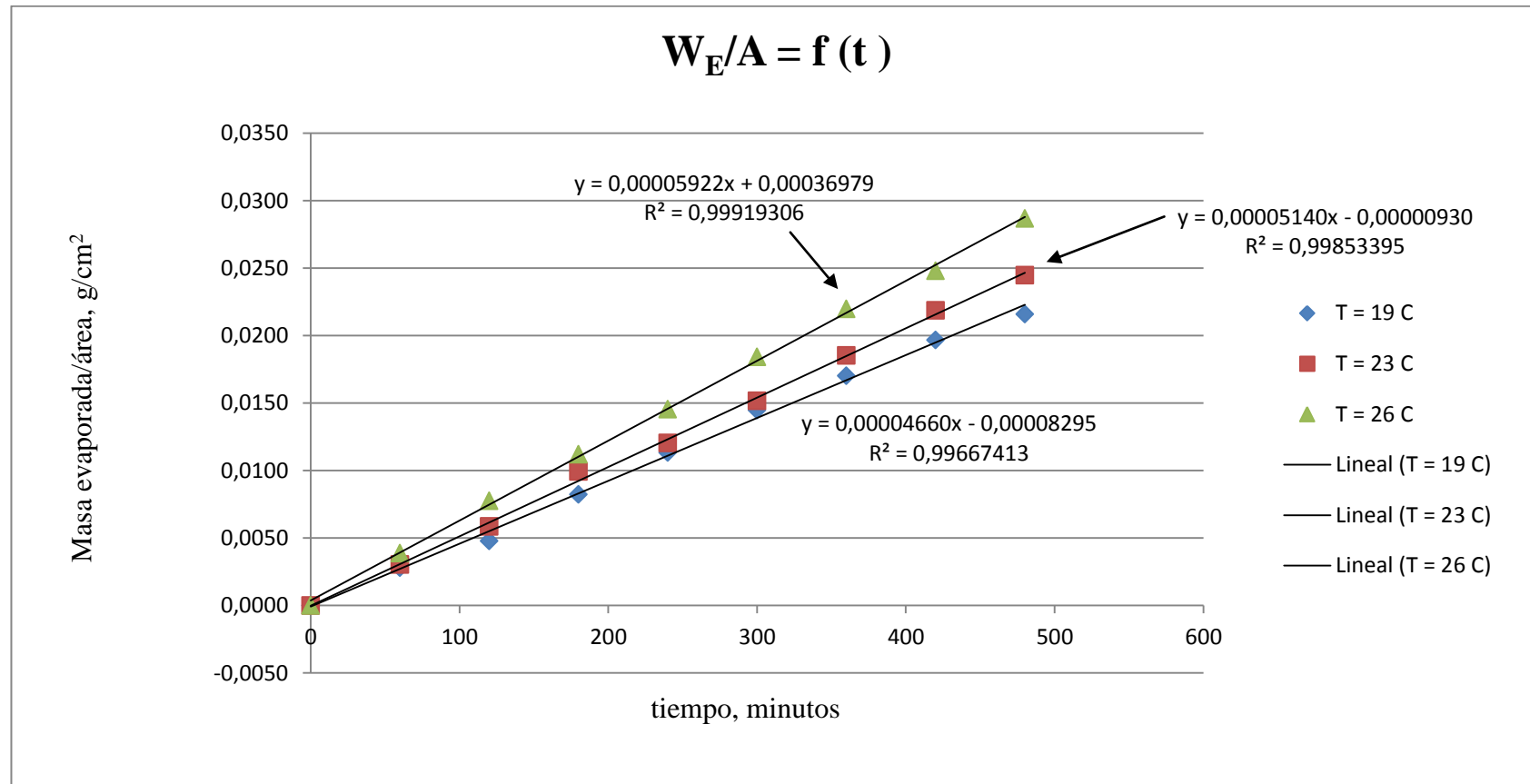


Gráfico 14. Masa evaporada/ área en función del tiempo para el Xileno a diferentes Temperaturas para el Sistema Estático

- Se grafica $N_a = f(T)$ de donde se obtiene la pendiente de evaporación

Pendiente de evaporación para el Tolueno obtenida del Gráfico 15

$$m = 0,00000727 * T - 0,00002046 \quad (32)$$

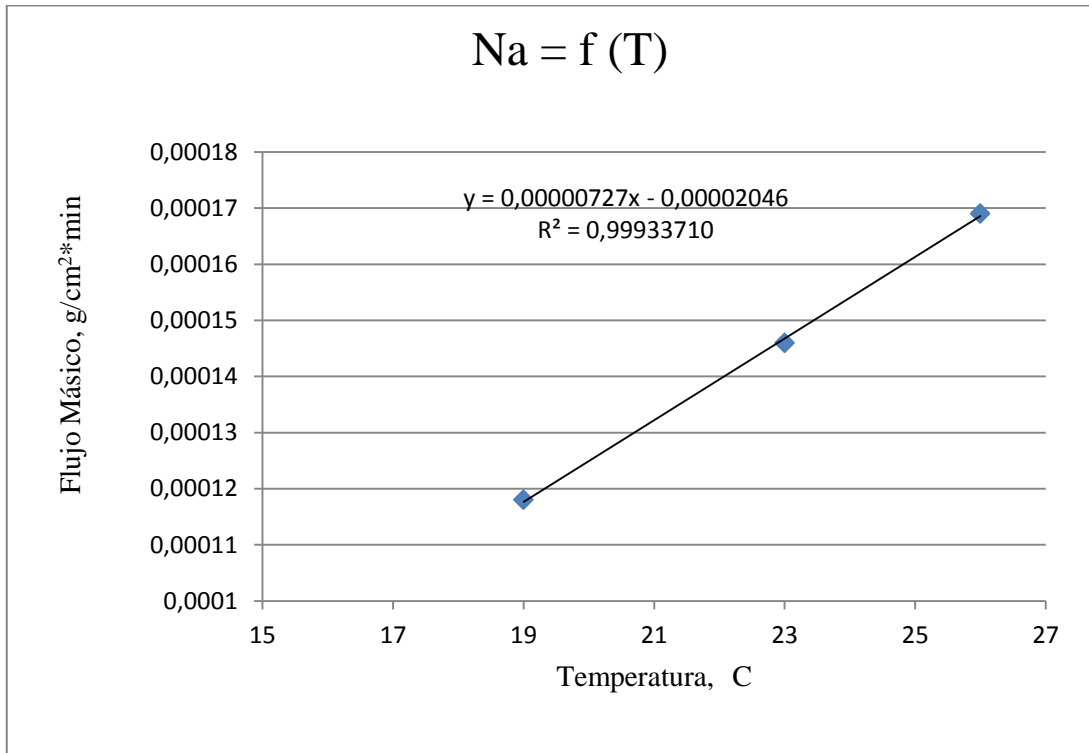


Gráfico 15. Flujo másico en función de la Temperatura para el Tolueno en el Sistema Estático

Pendiente de evaporación para el Xileno obtenida del Gráfico 16

$$m = 0,00000174 * T + 0,00001295 \quad (33)$$

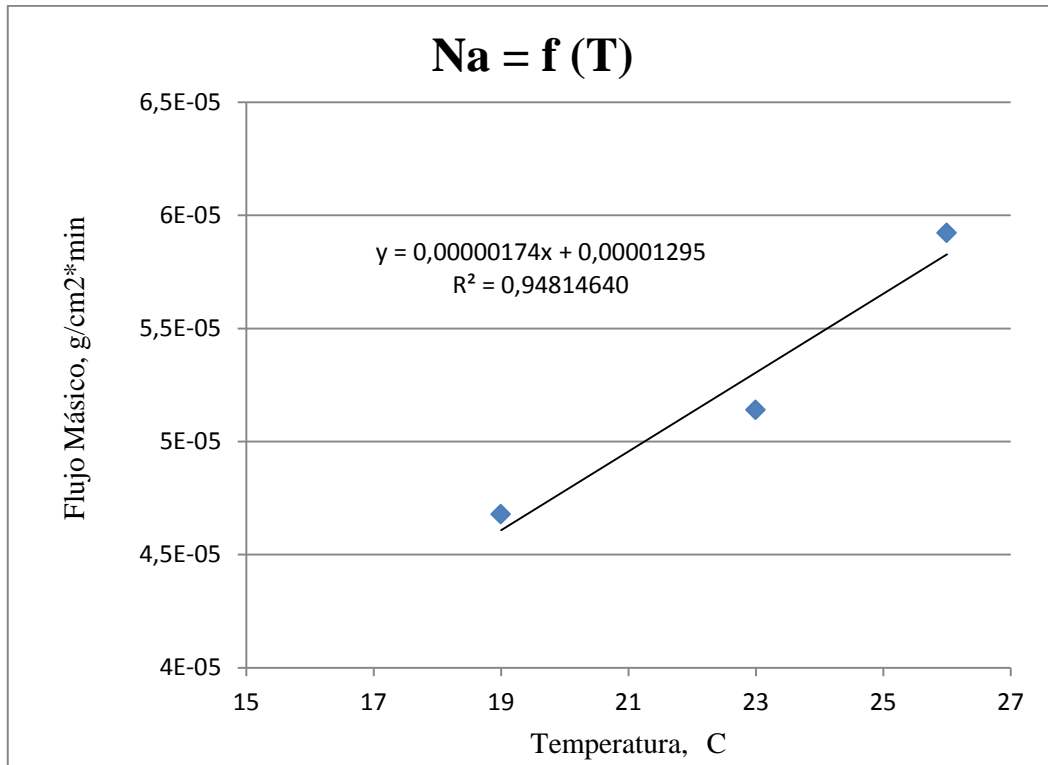


Gráfico16. Flujo másico en función de la Temperatura para el Xileno en el Sistema Estático

- Modelo Matemático

Para el Tolueno

$$W_E = m * A * t \quad (34)$$

$$W_E = 0,00000727 * T - 0,00002046 * A * t \quad (35)$$

Dónde:

W_E = Peso evaporado, g

T = Temperatura, °C

A = Área de Evaporación, cm²

t = tiempo, minutos

Para el Xileno

$$W_E = m * A * t \quad (36)$$

$$W_E = 0,00000174 * T + 0,00001295 * A * t \quad (37)$$

Dónde:

W_E = Peso evaporado, g

T = Temperatura, °C

A = Área de Evaporación, cm²

t = tiempo, minutos

4.7.3 Tratamiento Estadístico para el Tolueno y el Xileno en Sistema Dinámico

4.7.3.1 Obtención de las pendientes que representan el Flujo Másico ($m=Na$) de los gráficos $WE/A = f(t)$ a diferentes temperaturas y regímenes de turbulencia

Cuadro 27. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (Na) para cada temperatura y número de Reynolds (Re) para el Tolueno obtenidas de los Gráficos 17,18 y 19

m = Na,	T	Re
g/cm²*min	°C	
0,000110	19	927
0,000109	23	965
0,000152	26	996
0,000141	19	4633
0,000160	23	4827
0,000217	26	4980
0,000205	19	13900
0,000234	23	14482
0,000324	26	14941

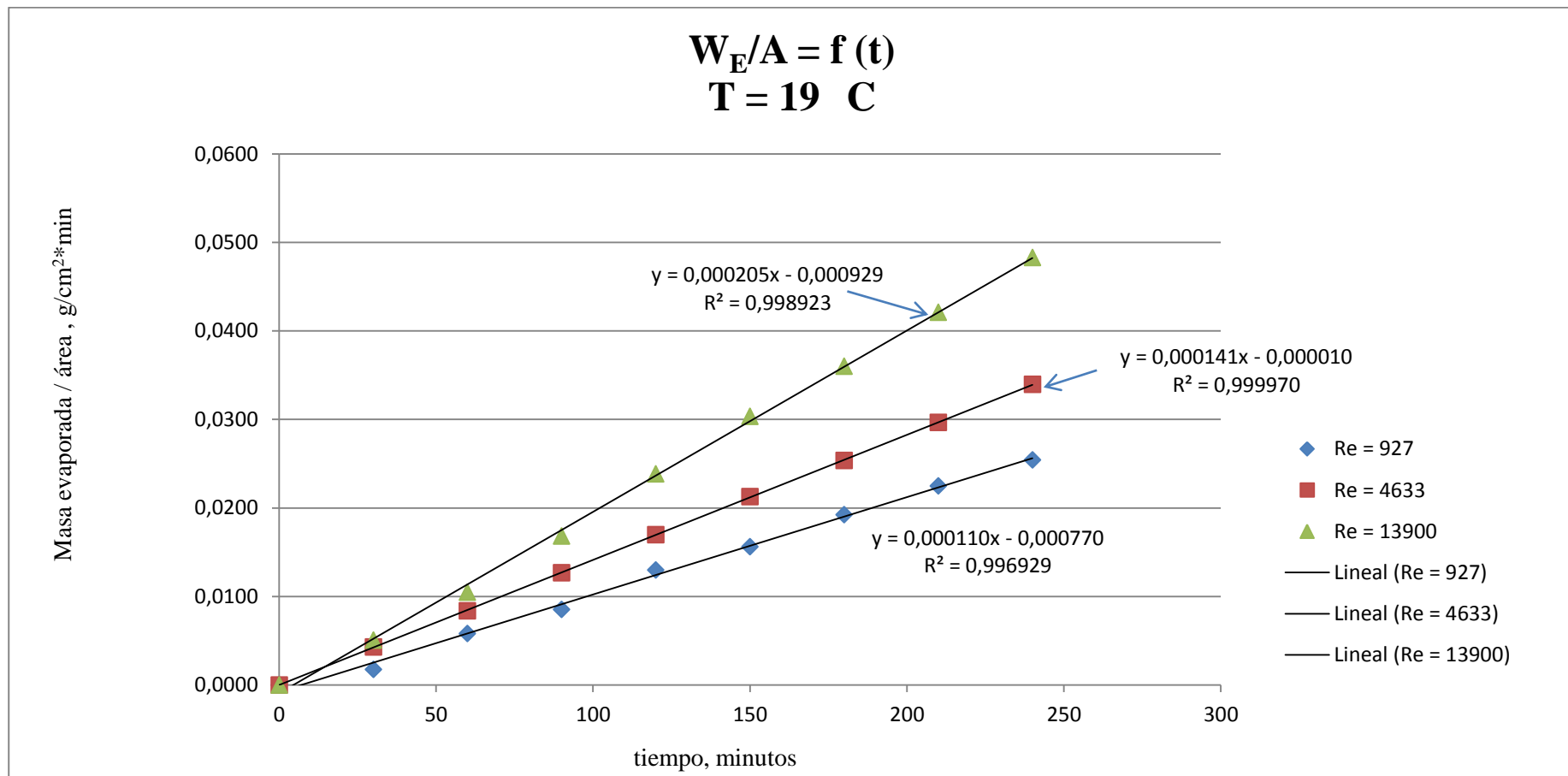


Gráfico 17. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a 19°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico

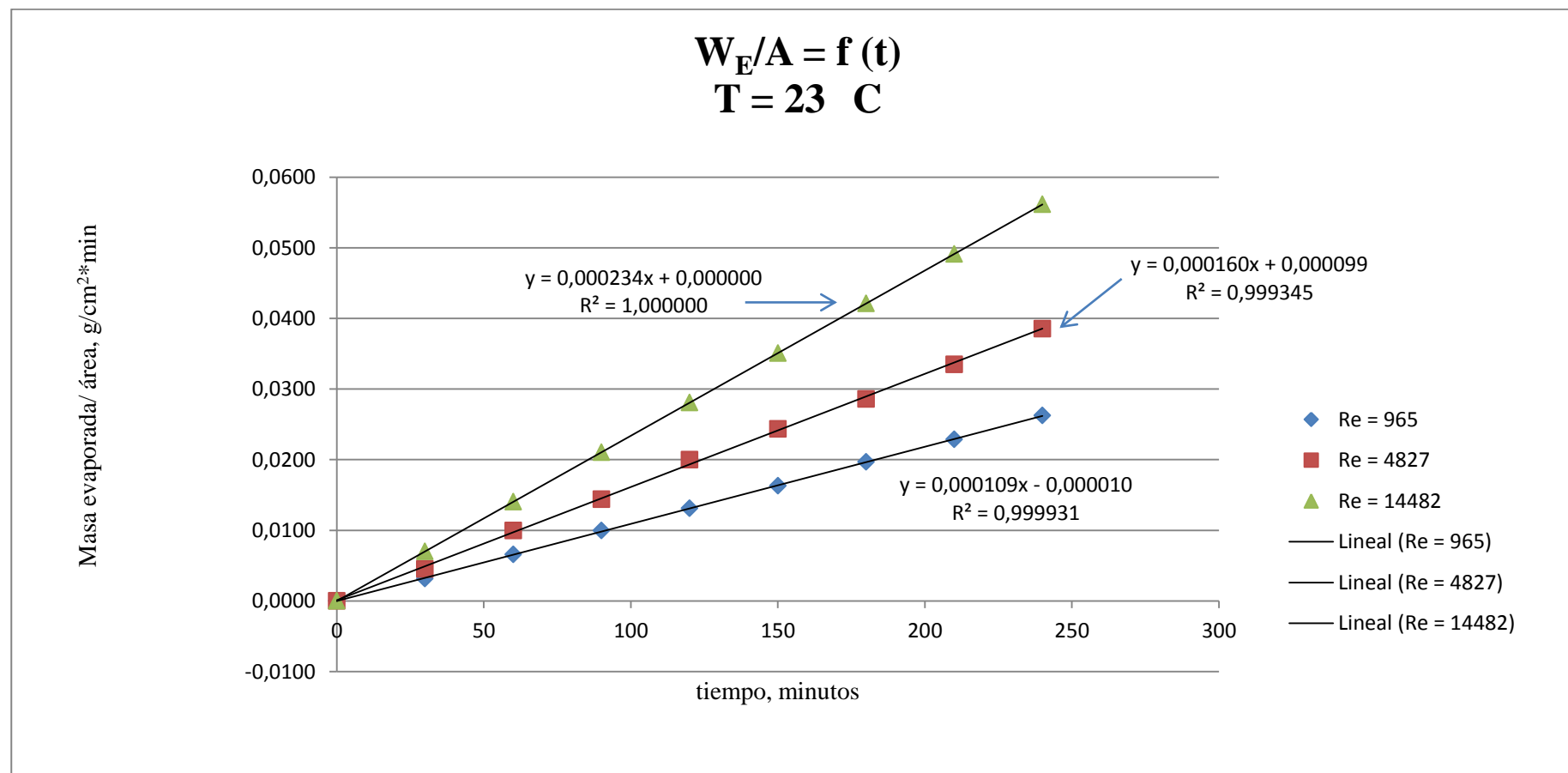


Gráfico18. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a 23°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico

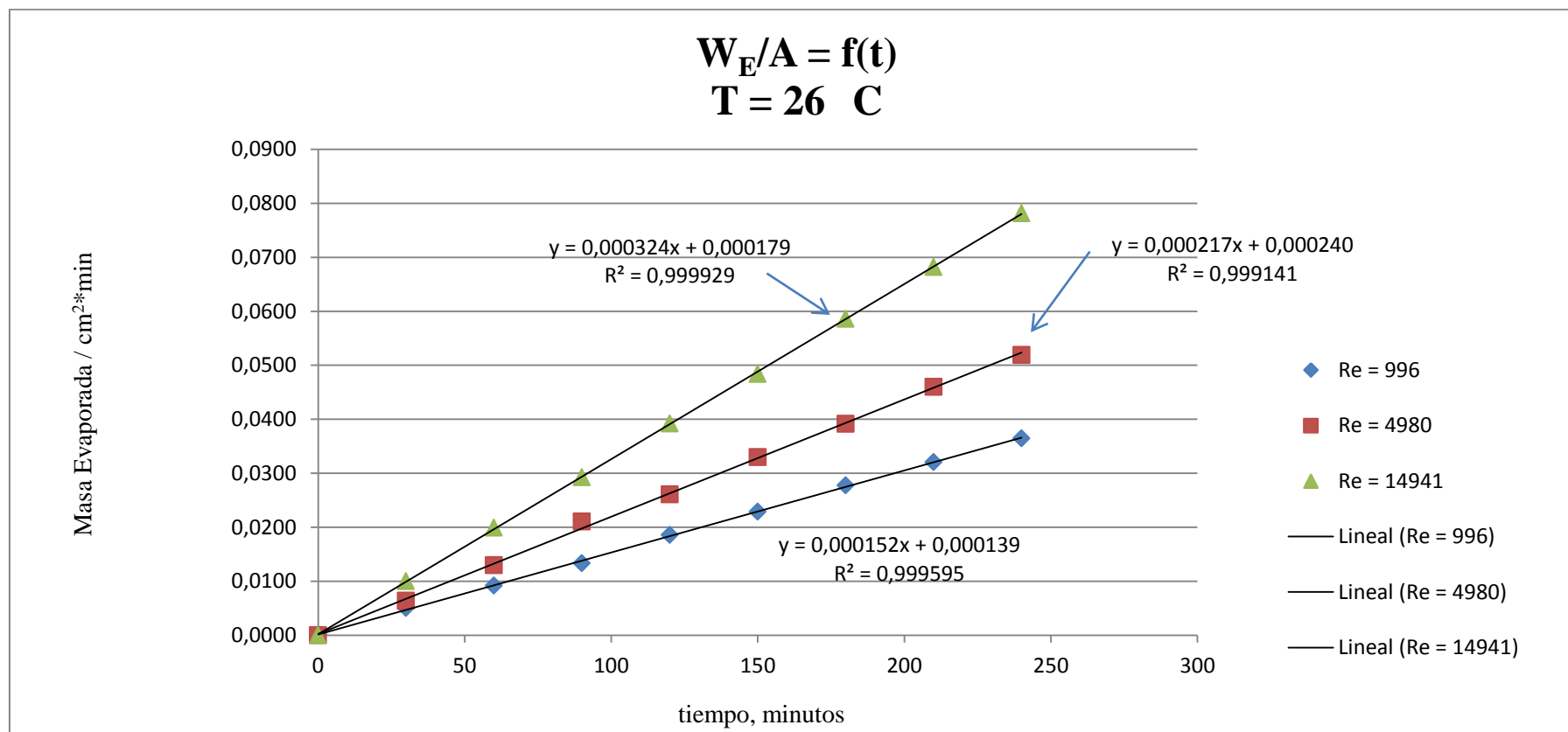


Gráfico19. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a 26°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico

Cuadro 28. Pendientes de las rectas que representan el flujo másico (Na) para cada temperatura y número de Reynolds (Re) para el Xileno obtenidos de los gráficos 20, 21 y 22

m = Na,	T	Re
g/cm²*min	°C	
0,00005365	19	808
0,00007306	23	852
0,00007855	26	883
0,00009410	19	4039
0,00010362	23	4262
0,00010781	26	4415
0,00014529	19	12118
0,00014524	23	12787
0,00012143	26	13245

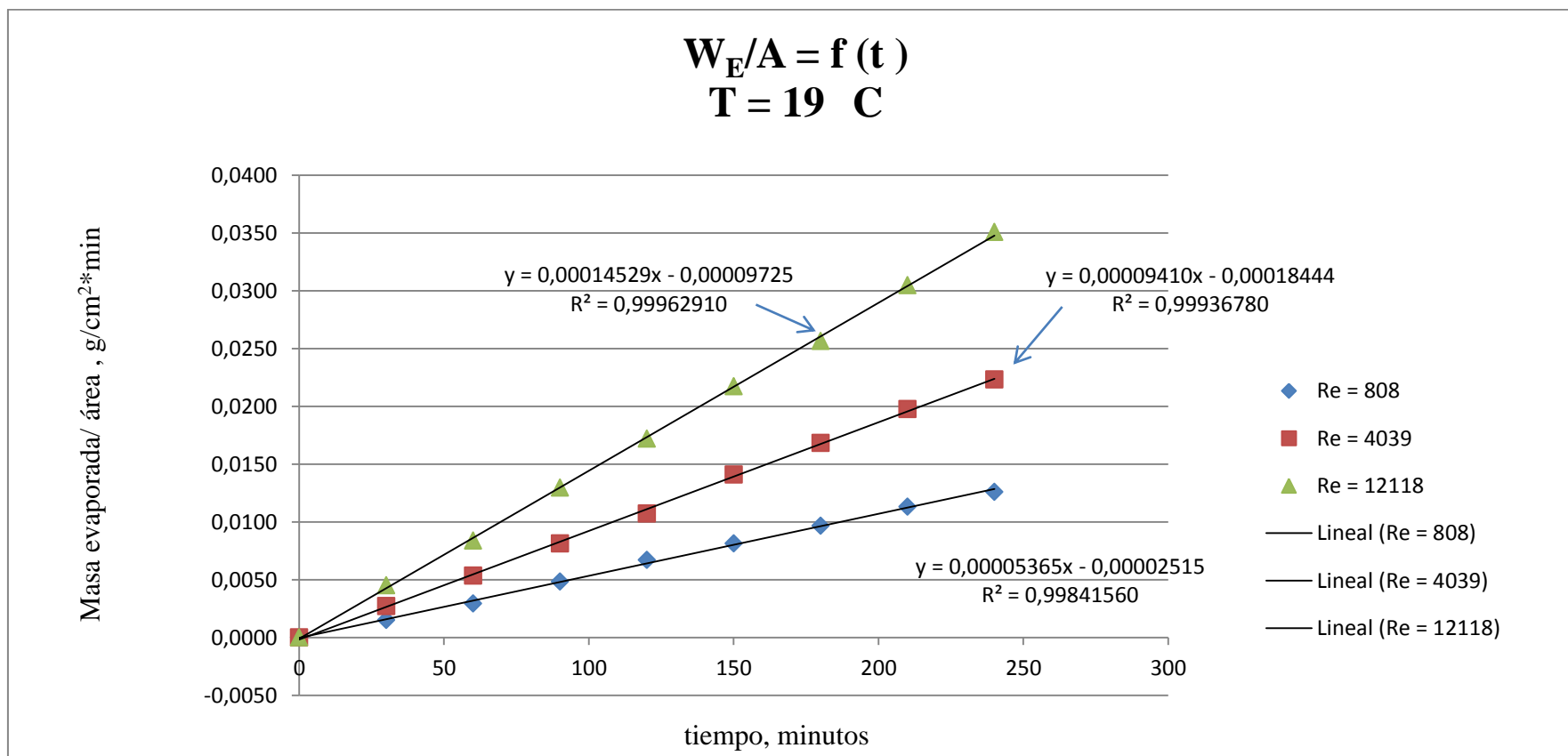


Gráfico 20. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Xileno a 19°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico

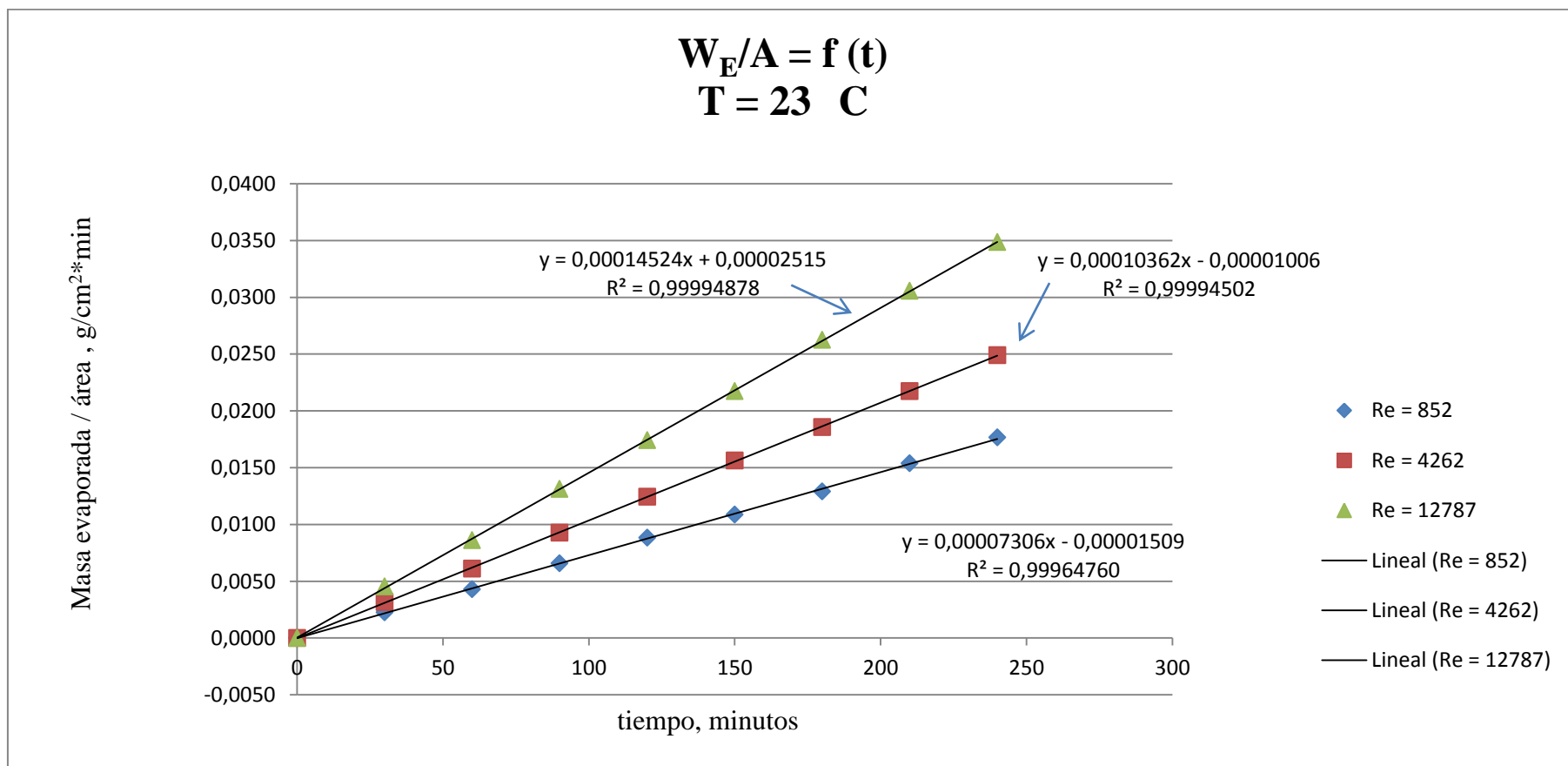


Gráfico 21. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a 23°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico

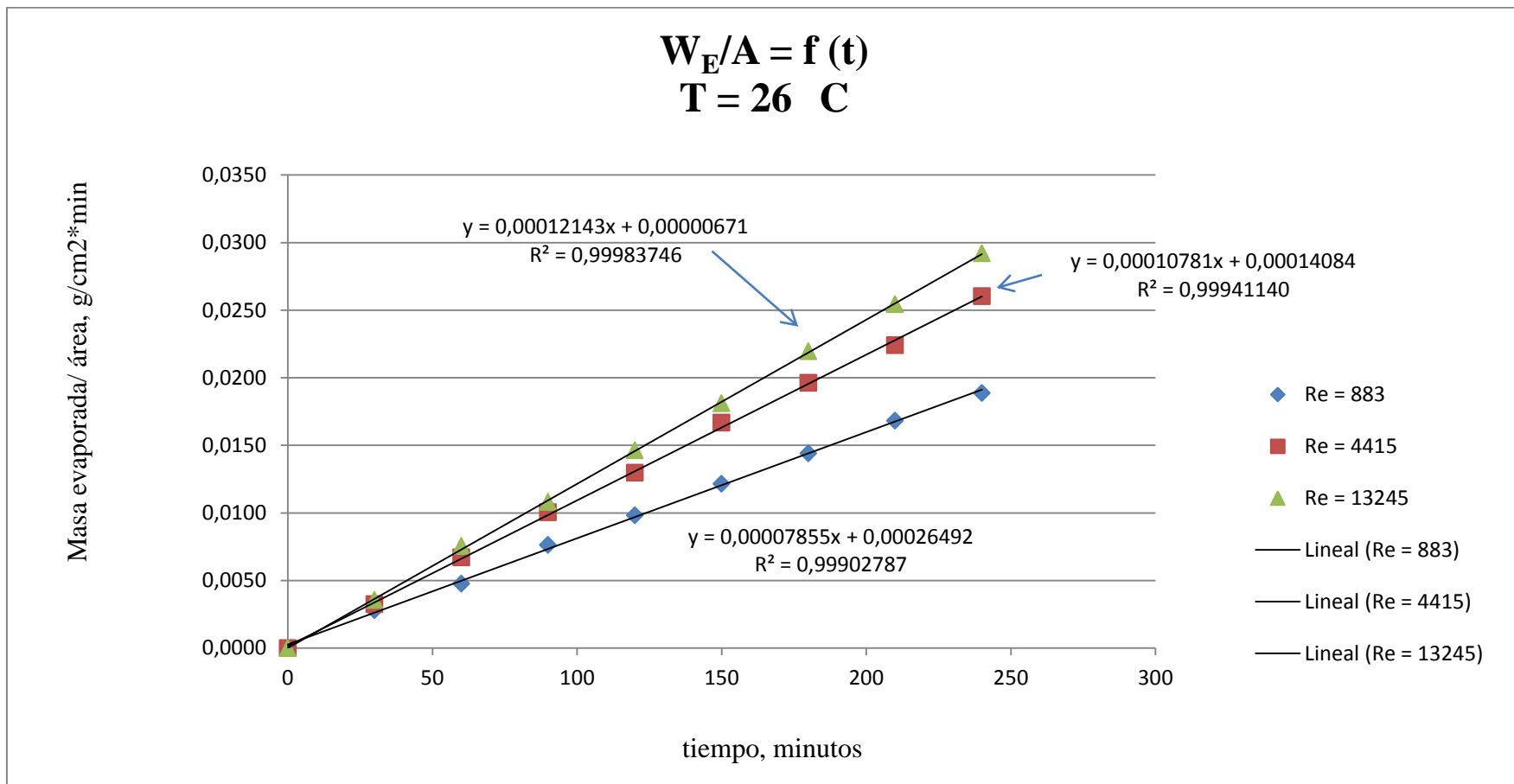


Gráfico 22. Masa Evaporada / área en función del tiempo para el Tolueno a 26°C y diferentes números de Reynolds en el Sistema Dinámico

4.7.3.3 Regresión Múltiple

- Aplicación

Emplearemos el conocimiento de la Regresión Múltiple, para la obtención de una ecuación que contenga a las variables que afectan a la evaporación de los solventes.

Se desea modelar la pendiente m , con la temperatura (T , °C) y Número de Reynolds (Re)

Paso1. El primer paso es proponer un modelo que relacione la pendiente de evaporación con la temperatura y el Número de Reynolds, considerando las pendientes del Sistema Dinámico. Un modelo que permite establecer la temperatura y el Reynolds es la ecuación de una paraboloides, y el modelo matemático correspondiente para la pendiente de evaporación a cualquier ajuste de temperatura y Reynolds es:

$$m = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 Re + \beta_3 T^2 + \beta_4 Re^2 + \beta_5 T * Re(38)$$

Para aplicar la ecuación N°38, se realiza las siguientes operaciones a las variables dependientes, (temperatura y número de Reynolds), datos que se resumen a continuación:

Cuadro 29. Datos para la aplicación de la regresión multivariable para el Tolueno

m = Na,	T	Re	T²	Re²	T * Re
g/cm²*min	°C				
0,000110	19	927	361	859329	17613
0,000109	23	965	529	931225	22195
0,000152	26	996	676	992016	25896
0,000141	19	4633	361	21464689	88027
0,000160	23	4827	529	23299929	111021
0,000217	26	4980	676	24800400	129480
0,000205	19	13900	361	193210000	264100
0,000234	23	14482	529	209728324	333086
0,000324	26	14941	676	223233481	388466

Cuadro 30. Datos para la aplicación de la regresión multivariable para el Xileno

m = Na,	T	Re	T²	Re²	T * Re
g/cm²*min	°C				
0,00005365	19	808	361	652864	15352
0,00007306	23	852	529	725904	19596
0,00007855	26	883	676	779689	22958
0,00009410	19	4039	361	16313521	76741
0,00010362	23	4262	529	18164644	98026
0,00010781	26	4415	676	19492225	114790
0,00014529	19	12118	361	146845924	230242
0,00014524	23	12787	529	163507369	294101
0,00012143	26	13245	676	175430025	344370

Paso 2. A continuación se estima los parámetros desconocidos β_0 , β_1 , β_2 y β_3 del modelo de paraboloide con ayuda del programa de Excel.

- Ecuación obtenida del análisis de regresión múltiple para el Tolueno Ver Anexo O, regresión generada de datos obtenidos del Cuadro 29

$$m = 0,001173822 - 0,000102316 T - 1,95782 \times 10^{-9} Re + 2,40441 \times 10^{-6} T^2 - 3,20991 \times 10^{-13} Re^2 + 7,29887 \times 10^{-10} T * Re \quad (39)$$

Donde:

m = Constante de condiciones de operación (pendiente de curva), g/cm²*min

T = temperatura absoluta, °C

Re = Número a dimensional de Reynolds

- Ecuación obtenida del análisis de regresión múltiple para el Xileno Ver Anexo P, regresión generada de datos obtenidos del Cuadro 30

$$m = -0,000288104 + 2,72146 \times 10^{-5} T + 2,54074 \times 10^{-8} Re - 5,17993 \times 10^{-7} T^2 - 4,76256 \times 10^{-13} Re^2 - 5,76776 \times 10^{-10} T * Re \quad (40)$$

Donde:

m = Constante de condiciones de operación (pendiente de curva), g/cm²*min

T = temperatura absoluta, °C

Re = Número a dimensional de Reynolds

Paso 3. A continuación se evalúa la adecuación del modelo.

Cuadro 31. Comprobación de las ecuaciones obtenidas por Regresión Múltiple para el Tolueno

m = Na, ex	m = Na, ec	E
g/cm²*min	g/cm²*min	%
0,000110	0,000109	1,30
0,000109	0,000106	2,30
0,000152	0,000156	2,38
0,000141	0,000146	3,61
0,000160	0,000157	2,13
0,000217	0,000216	0,56
0,000205	0,000201	1,79
0,000234	0,000240	2,53
0,000324	0,000322	0,74

Cuadro 32. Comprobación de las ecuaciones obtenidas por Regresión Múltiple para el Xileno

m = Na, experimental	m = Na, ecuación	E
g/cm²*min	g/cm²*min	%
0,00005365	0,00005334	0,57
0,00007306	0,00007381	1,03
0,00007855	0,00007813	0,53
0,00009410	0,00009257	1,63
0,00010362	0,00010691	3,18
0,00010781	0,00010600	1,68
0,00014529	0,00014713	1,27
0,00014524	0,00014120	2,78
0,00012143	0,00012366	1,84

Paso 4: Obtención del Modelo Matemático

Para el Tolueno:

$$W_E = m * A * t \quad (41)$$

$$W_E = 0,001173822 - 0,000102316 T - 1,95782 \times 10^{-9} Re + 2,40441 \times 10^{-6} T^2 - 3,20991 \times 10^{-13} Re^2 + 7,29887 \times 10^{-10} T * Re * A * t \quad (42)$$

Dónde:

W_E : Peso evaporado en g.

T = Temperatura °C

Re = Número de Reynolds

A = Área de Evaporación en cm^2

t = tiempo en minutos

Para el Xileno:

$$W_E = m * A * t \quad (43)$$

$$W_E = -0,000288104 + 2,72146 \times 10^{-5} T + 2,54074 \times 10^{-8} Re - 5,17993 \times 10^{-7} T^2 - 4,76256 \times 10^{-13} Re^2 - 5,76776 \times 10^{-10} T * Re * A * t \quad (44)$$

Donde:

W_E : Peso evaporado en g.

T = Temperatura °C

Re = Número de Reynolds

A = Área de Evaporación en cm^2

t = tiempo en minutos

Cuadro 33. Resumen de los Modelos Obtenidos

Solvente	Modelo		Unidades
Tolueno	Almacenamiento	$W_E = 0,000291 * T + 0,003102 * A * t$	W _E = Peso evaporado, g T = Temperatura, °C A = Área de Evaporación, cm ² t = tiempo, días
	Sistema Estático	$W_E = 0,00000727 * T - 0,00002046 * A * t$	W _E = Peso evaporado, g T = Temperatura, °C A = Área de Evaporación, cm ² t = tiempo, minutos
	Sistema Dinámico	$W_E = 0,001173822 - 0,000102316 T - 1,95782 \times 10^{-9} Re + 2,40441 \times 10^{-6} T^2 - 3,20991 \times 10^{-13} Re^2 + 7,29887 \times 10^{-10} T * Re * A * t$	W _E = Peso evaporado, g. T = Temperatura °C Re = Número de Reynolds A = Área de Evaporación en cm ² t = tiempo en minutos

Xileno	Almacenamiento	$W_E = 0,00011366 * T + 0,00544732 * A * t$	W _E = Peso evaporado, g T = Temperatura, °C A = Área de Evaporación, cm ² t = tiempo, minutos
	Sistema Estático	$W_E = 0,00000174 * T + 0,00001295 * A * t$	W _E = Peso evaporado, g T = Temperatura, °C A = Área de Evaporación, cm ² t = tiempo, minutos
	Sistema Dinámico	$W_E = -0,000288104 + 2,72146 \times 10^{-5} T + 2,54074 \times 10^{-8} Re - 5,17993 \times 10^{-7} T^2 - 4,76256 \times 10^{-13} Re^2 - 5,76776 \times 10^{-10} T * Re * A * t$	W _E = Peso evaporado, g. T = Temperatura °C Re = Número de Reynolds A = Área de Evaporación en cm ² t = tiempo en minutos

4.8 Comprobación de los Modelos Obtenidos

4.8.1 Para el Almacenamiento

4.8.1.1 Para el Tolueno

Modelo:

$$W_E = 0,000291 * T + 0,003102 * A + t \quad (45)$$

Cuadro 34. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno

T = 19 °C, Área = 44,18 cm ²				T = 23 °C Área = 44,18 cm ²			T = 26 °C Área = 44,18 cm ²		
tiempo	W _E , ex	W _E , t	E	W _E , ex	W _E , t	E	W _E , ex	W _E , t	E
días	g	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
1	0,37	0,38	3,056	0,45	0,43	4,54	0,48	0,47	2,49
2	0,76	0,76	0,786	0,89	0,87	2,76	0,93	0,94	0,99
3	1,14	1,14	0,638	1,31	1,30	0,90	1,42	1,41	0,66
4	1,51	1,53	1,232	1,75	1,73	0,90	1,89	1,89	0,25
5	1,89	1,91	1,053	2,19	2,16	1,05	2,36	2,36	0,29
6	2,28	2,29	0,197	2,60	2,60	0,14	2,84	2,83	0,55
7	2,68	2,67	0,405	3,05	3,03	0,68	3,29	3,30	0,38
8	3,03	3,05	0,564	3,49	3,46	0,81	3,77	3,77	0,08

4.8.1.2 Para el Xileno

Modelo

$$W_E = 0,00011366 * T + 0,00544732 * A + t \quad (46)$$

Cuadro 35. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno

T = 19 °C, Área = 44,18 cm ²				T = 23 °C Área = 44,18 cm ²			T = 26 °C Área = 44,18 cm ²		
tiempo	W _E , ex	W _E , t	E	W _E , ex	W _E , t	E	W _E , ex	W _E ,t	E
días	g	g	%	G	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	
1	0,33	0,34	0,82132	0,36	0,36	1,067	0,38	0,37	1,446
2	0,67	0,67	0,82132	0,72	0,71	1,523	0,75	0,74	1,008
3	1,01	1,01	0,50527	0,98	1,07	9,400	1,11	1,11	0,030
4	1,35	1,34	0,66865	1,43	1,42	0,143	1,50	1,48	1,227
5	1,67	1,68	0,62008	1,80	1,78	1,067	1,86	1,86	0,388
6	2,01	2,02	0,48637	2,14	2,14	0,298	2,26	2,23	1,300
7	2,36	2,35	0,17691	2,47	2,49	0,799	2,62	2,60	0,945
8	2,70	2,69	0,42339	2,82	2,85	1,157	2,96	2,97	0,443

4.8.2 Para el Sistema Estático

4.8.2.1 Para el Tolueno

Modelo:

$$W_E = 0,00000727 * T - 0,00002046 * A * t \quad (47)$$

Cuadro 36. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno

T = 19 °C Área = 31,85 cm ²				T = 23 °C Área = 31,85 cm ²			T = 26 °C Área = 31,85 cm ²		
tiempo	W _E , ex	W _E , t	E	W _E , ex	W _E , t	E	W _E , ex	W _E ,t	E
min	G	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
60	0,24	0,22	6,30	0,26	0,28	6,50	0,25	0,32	27,15
120	0,48	0,45	5,65	0,56	0,56	0,43	0,60	0,64	6,78
180	0,69	0,67	2,23	0,82	0,84	2,19	0,94	0,97	3,17
240	0,90	0,90	0,06	1,09	1,12	3,23	1,26	1,29	2,53
300	1,15	1,12	2,23	1,38	1,40	1,61	1,59	1,61	1,30
360	1,36	1,35	1,03	1,66	1,68	1,16	1,90	1,93	1,90
420	1,60	1,57	1,41	1,95	1,96	0,67	2,23	2,25	0,96
480	1,80	1,80	0,06	2,23	2,24	0,61	2,54	2,58	1,46

4.8.2.2 Para el Xileno

Modelo:

$$W_E = 0,00000174 * T + 0,00001295 * A * t \quad (48)$$

Cuadro37. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno

T = 19 °C Área = 31,85 cm ²				T = 23 °C Área = 31,85 cm ²			T = 26 °C Área = 31,85 cm ²		
tiempo	W _E , ex	W _E , t	E	W _E , ex	W _E , t	E	W _E , ex	W _E ,t	E
min	g	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
60	0,09	0,09	1,08	0,10	0,10	4,72	0,12	0,11	9,84
120	0,15	0,18	15,52	0,19	0,20	8,46	0,25	0,22	9,84
180	0,26	0,26	0,59	0,32	0,30	4,10	0,36	0,33	6,47
240	0,36	0,35	2,61	0,38	0,40	5,63	0,46	0,44	4,00
300	0,46	0,44	4,66	0,48	0,51	4,72	0,59	0,56	5,23
360	0,54	0,53	2,71	0,59	0,61	2,94	0,70	0,67	4,68
420	0,63	0,62	1,79	0,70	0,71	1,71	0,79	0,78	1,47
480	0,69	0,70	2,27	0,78	0,81	3,82	0,91	0,89	2,60

4.8.3 Para el Sistema Dinámico

4.8.3.1 Para el Tolueno

Modelo:

$$W_E = 0,001173822 - 0,000102316 T - 1,95782 \times 10^{-9} Re + 2,40441 \times 10^{-6} T^2 - 3,20991 \times 10^{-13} Re^2 + 7,29887 \times 10^{-10} T * Re * A * t \quad (49)$$

Cuadro 38. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno a T = 19°C

	T = 19 °C Área = 44,18 cm²								
	Re = 927			Re = 4633			Re = 13900		
Tiempo	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E
Min	g	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
30	0,08	0,14	87,69	0,19	0,19	1,91	0,22	0,27	19,48
60	0,26	0,29	12,13	0,37	0,39	4,66	0,46	0,53	15,18
90	0,38	0,43	14,61	0,56	0,58	3,73	0,74	0,80	7,69
120	0,57	0,58	0,39	0,75	0,77	3,27	1,05	1,07	1,33
150	0,69	0,72	4,27	0,94	0,97	2,99	1,34	1,33	0,43
180	0,85	0,86	1,57	1,12	1,16	3,73	1,59	1,60	0,70
210	0,99	1,01	1,40	1,31	1,36	3,47	1,86	1,87	0,42
240	1,12	1,15	2,48	1,50	1,55	3,27	2,13	2,13	0,07

Cuadro 39. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno a T = 23°C

	T = 23 °C Área = 44,18 cm²								
	Re = 965			Re = 4827			Re = 14482		
tiempo	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E
min	g	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
30	0,14	0,14	0,82	0,20	0,21	3,77	0,31	0,32	2,58
60	0,29	0,28	2,66	0,44	0,42	5,67	0,62	0,64	2,58
90	0,44	0,42	3,77	0,64	0,62	2,21	0,93	0,95	2,58
120	0,58	0,56	2,66	0,88	0,83	6,02	1,24	1,27	2,58
150	0,72	0,71	1,99	1,08	1,04	3,62	1,55	1,59	2,58
180	0,87	0,85	2,66	1,26	1,25	1,44	1,86	1,91	2,58
210	1,01	0,99	2,18	1,48	1,45	1,84	2,17	2,23	2,58
240	1,16	1,13	2,66	1,70	1,66	2,53	2,48	2,54	2,58

Cuadro 40. Comprobación del Modelo Matemático para el Tolueno a T = 26°C

	T = 26 °C Área = 44,18 cm²								
	Re = 996			Re = 4980			Re = 14941		
tiempo	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E
min	g	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
30	0,22	0,21	7,65	0,28	0,29	0,93	0,44	0,43	3,85
60	0,41	0,41	1,43	0,57	0,57	0,24	0,88	0,85	3,13
90	0,59	0,62	4,87	0,93	0,86	7,75	1,29	1,28	1,13
120	0,82	0,82	0,61	1,15	1,14	0,82	1,73	1,70	1,63
150	1,01	1,03	2,10	1,46	1,43	1,84	2,14	2,13	0,25
180	1,23	1,24	0,88	1,73	1,72	0,82	2,59	2,56	1,26
210	1,42	1,44	1,91	2,03	2,00	1,55	3,01	2,98	0,98
240	1,61	1,65	2,48	2,29	2,29	0,24	3,45	3,41	1,26

4.8.3.2 Para el Xileno**Modelo:**

$$W_E = -0,000288104 + 2,72146 \times 10^{-5} T + 2,54074 \times 10^{-8} Re - 5,17993 \times 10^{-7} T^2 - 4,76256 \times 10^{-13} Re^2 - 5,76776 \times 10^{-10} T * Re * A * t \quad (50)$$

Cuadro 41. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno a T = 19°C

	T = 19 °C Área = 44,18								
	Re = 808			Re = 4039			Re = 12118		
tiempo	W _{E,exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E
min	g	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
30	0,07	0,07	6,05	0,12	0,12	2,24	0,20	0,20	2,50
60	0,13	0,14	8,76	0,24	0,25	3,68	0,37	0,39	5,41
90	0,21	0,21	0,58	0,36	0,37	2,24	0,57	0,59	2,04
120	0,30	0,28	4,68	0,47	0,49	3,68	0,76	0,78	2,63
150	0,36	0,35	1,81	0,62	0,61	1,59	0,96	0,98	1,56
180	0,43	0,42	0,58	0,74	0,74	0,97	1,13	1,17	3,24
210	0,50	0,49	1,02	0,87	0,86	1,67	1,35	1,37	1,36
240	0,56	0,57	1,60	0,99	0,98	0,53	1,55	1,56	0,65

Cuadro42. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno a T = 23°C

	T = 23 °C Área = 44,18								
	Re = 852			Re = 4262			Re = 12787		
tiempo	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E
min	g	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
30	0,10	0,10	2,17	0,14	0,14	1,21	0,20	0,19	6,43
60	0,19	0,20	2,98	0,27	0,28	4,96	0,38	0,37	1,51
90	0,29	0,29	1,20	0,41	0,43	3,68	0,58	0,56	3,21
120	0,39	0,39	0,34	0,55	0,57	3,05	0,77	0,75	2,79
150	0,48	0,49	1,90	0,69	0,71	2,68	0,96	0,94	2,53
180	0,57	0,59	2,98	0,82	0,85	3,68	1,16	1,12	3,21
210	0,68	0,68	0,71	0,96	0,99	3,32	1,35	1,31	2,97
240	0,78	0,78	0,34	1,10	1,13	3,05	1,54	1,50	2,79

Cuadro 43. Comprobación del Modelo Matemático para el Xileno a T = 26°C

	T = 26 °C Área = 44,18								
	Re = 883			Re = 4415			Re = 13245		
tiempo	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E	W _{E, exp}	W _{E, t}	E
min	g	g	%	g	g	%	g	g	%
0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
30	0,12	0,10	16,04	0,14	0,14	1,99	0,16	0,16	4,61
60	0,21	0,21	1,37	0,30	0,28	5,29	0,33	0,33	1,66
90	0,34	0,31	7,72	0,44	0,42	4,94	0,48	0,49	3,15
120	0,43	0,41	4,41	0,57	0,56	1,99	0,65	0,66	1,38
150	0,54	0,52	3,52	0,74	0,70	4,65	0,80	0,82	2,43
180	0,64	0,62	2,41	0,87	0,84	2,74	0,97	0,98	1,38
210	0,74	0,72	2,48	0,99	0,98	0,67	1,12	1,15	2,13
240	0,83	0,83	0,59	1,15	1,12	2,27	1,29	1,31	1,64

4.9 Aplicación de los Modelos Obtenidos

4.9.1 Aplicación del Modelo Obtenido para Almacenamiento

4.9.1.1 Para el Tolueno. Se considera que el Tolueno es almacenado en tanques de acero con capacidad de 55 galones. Como se muestra en la figura:

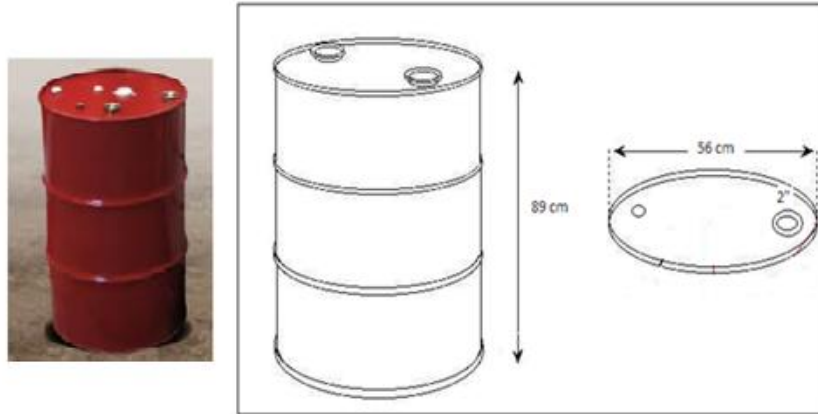


Figura17. Dimensiones del Tanque

Datos:

$T = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$

Área de Evaporación = 2463 cm^2

Peso Neto (Peso de Solvente) = 180 Kg

Modelo Matemático:

$$W_E = 0,000291 * T + 0,003102 * A + t$$

Cuadro 44. Peso Evaporado de Tolueno en un Tanque de Acero a diferentes Temperaturas

T, °C	19	23	26
t	W_E	W_E	W_E
días	g	g	g
1	21	24	26
2	43	48	53
3	64	72	79
4	85	97	105
5	106	121	131
6	128	145	158
7	149	169	184
8	170	193	210
9	191	217	236
10	213	241	263

4.9.1.2 Para el Xileno. Se considera que el Xileno es almacenado en tanques de plástico Ibc con capacidad de 1000 L. Como se muestra en la figura:

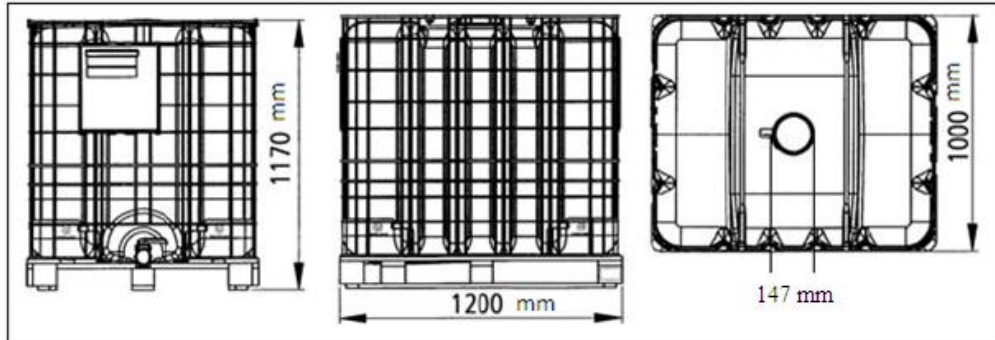


Figura 18. Dimensiones del Ibc

Datos:

$$T = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Área de Evaporación} = 12000\text{ cm}^2$$

$$\text{Peso Neto (Peso de Solvente)} = 1087000\text{ Kg}$$

Modelo Matemático:

$$W_E = 0,00011366 * T + 0,00544732 * A + t$$

Cuadro 45. Peso Evaporado de Xileno en un Tanque Ibc a diferentes Temperaturas

T, °C	19	23	26
t	W _E	W _E	W _E
días	g	g	g
1	91	97	101
2	183	193	202
3	274	290	302
4	365	387	403
5	456	484	504
6	548	580	605
7	639	677	706
8	730	774	807
9	822	871	907
10	913	967	1008

4.9.2 Aplicación del Modelo Obtenido para el Sistema Estático. Se considera que el Tolueno y el Xileno han sido almacenados en tanques con las siguientes características:

Cuadro 46. Características del Tanque de Almacenamiento

Capacidad	Altura	Diámetro del tanque	Diámetro del ducto de salidas de vapores	Área del tanque	Área de salida de vapores	Area de Evaporación
l	cm	cm	Cm	cm ²	cm ²	cm ²
7500	366	163	5	20856,67	19,63	2990,12

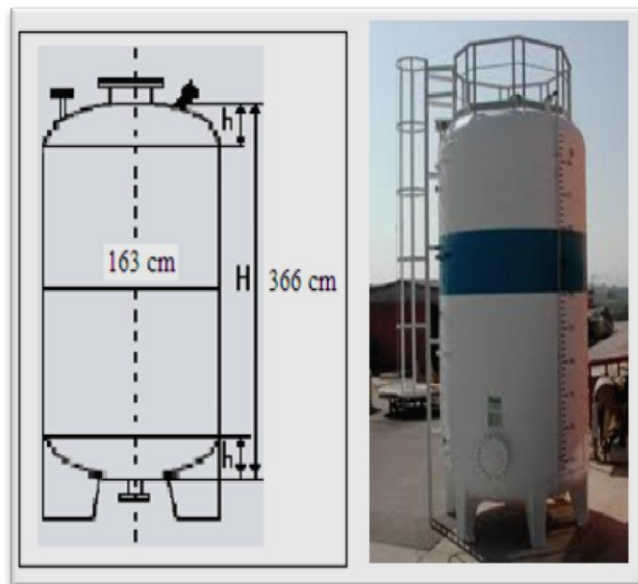


Figura 19. Dimensiones del Tanque de Almacenamiento

Calculo del Área de Evaporación

$$A = \frac{A_m - a_m}{\ln \frac{A_m}{a_m}}$$

Dónde:

A_m = Área de la superficie del líquido, cm²

a_m = Área de la abertura del recipiente , cm²

A = Área de evaporación, siendo esta un área media, cm²

$$A = \frac{20856,67 \text{ cm}^2 - 19,63 \text{ cm}^2}{\ln \frac{20856,67 \text{ cm}^2}{19,63 \text{ cm}^2}}$$

$$A = 2990,12 \text{ cm}^2$$

Se calcula el peso evaporado de Tolueno y el Xileno en un día considerando variaciones de Temperatura tanto para Quito como para Guayaquil

4.9.2.1 Para el Tolueno.

Modelo:

$$W_E = 0,00000727 * T - 0,00002046 * A * t$$

Cuadro 47. Peso Evaporado de Tolueno a diferentes Temperaturas durante el día para Quito

Intervalo, hora		t, minutos	T, °C	W _E , g
0:00	4:00	240	12	48
4:00	6:00	120	14	29
6:00	7:00	60	16	17
7:00	8:00	60	18	20
8:00	11:00	180	19	63
11:00	12:00	60	20	22
12:00	14:00	120	25	58
14:00	16:00	120	23	53
16:00	17:00	60	19	21
17:00	19:00	120	17	37
19:00	20:00	60	16	17
20:00	22:00	120	14	29
22:00	2 4	120	13	27
		1440		441

Cuadro 48. Peso Evaporado de Tolueno a diferentes Temperaturas durante el día para Guayaquil

Intervalo, hora		t, minutos	T, °C	W _E , g
0:00	4:00	240	22	100
4:00	6:00	120	23	53
6:00	7:00	60	25	29
7:00	8:00	60	26	30
8:00	11:00	180	28	99
11:00	12:00	60	30	35
12:00	14:00	120	31	74
14:00	16:00	120	30	71
16:00	17:00	60	29	34
17:00	19:00	120	27	63
19:00	20:00	60	26	30
20:00	22:00	120	25	58
22:00	2 4	120	22	50
		1440		726

4.9.2.2 Para el Xileno.

Modelo:

$$W_E = 0,00000174 * T + 0,00001295 * A * t$$

Cuadro 49. Peso Evaporado de Xileno a diferentes Temperaturas durante el día para Quito

Intervalo, hora		t, minutos	T, °C	W _E , g
0:00	4:00	240	12	24
4:00	6:00	120	14	13
6:00	7:00	60	16	7
7:00	8:00	60	18	8
8:00	11:00	180	19	25
11:00	12:00	60	20	9
12:00	14:00	120	25	20
14:00	16:00	120	23	19
16:00	17:00	60	19	8
17:00	19:00	120	17	15
19:00	20:00	60	16	7
20:00	22:00	120	14	13
22:00	2 4	120	13	13
				183

Cuadro 50. Peso Evaporado de Xileno a diferentes Temperaturas durante el día para Guayaquil

Intervalo, hora		t, minutos	T, °C	W _E , g
0:00	4:00	240	22	37
4:00	6:00	120	23	19
6:00	7:00	60	25	10
7:00	8:00	60	26	10
8:00	11:00	180	28	33
11:00	12:00	60	30	12
12:00	14:00	120	31	24
14:00	16:00	120	30	23
16:00	17:00	60	29	11
17:00	19:00	120	27	22
19:00	20:00	60	26	10
20:00	22:00	120	25	20
22:00	24:00	120	22	18
				251

4.9.3 Aplicación del Modelo Obtenido para el Sistema Dinámico

Se considera que el Tolueno y el Xileno son agitados en un tanque industrial con las siguientes características

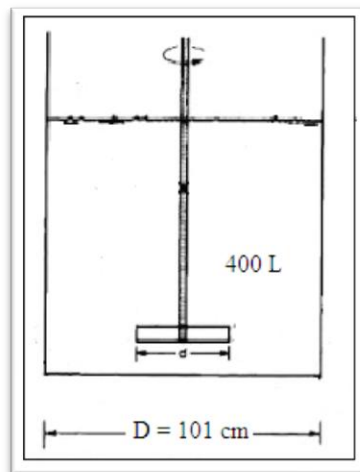


Figura 20. Dimensiones del Tanque de Agitación

Datos:

Área de Evaporación = $8007,79 \text{ cm}^2$

Temperatura: Experimentales

Para el Tolueno

Modelo:

$$W_E = m * A * t$$

$$W_E = 0,001173822 - 0,000102316 T - 1,95782 \times 10^{-9} Re + 2,40441 \times 10^{-6} T^2 \\ - 3,20991 \times 10^{-13} Re^2 + 7,29887 \times 10^{-10} T * Re * A * t$$

Cuadro 51. Pérdidas de Peso del Tolueno sometido a diferentes Regímenes de Turbulencia a diferentes Temperaturas

T, °C	19	23	26	19	23	26	19	23	26
Re	927	965	996	4633	4827	4980	13900	14482	14941
m	0,00010857	0,00010649	0,00015561	0,00014609	0,00015658	0,00021578	0,00020134	0,00023992	0,00032161
tiempo	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E
min	g	g	g	g	g	g	g	g	g
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	26	26	37	35	38	52	48	58	77
60	52	51	75	70	75	104	97	115	155
90	78	77	112	105	113	156	145	173	232
120	104	102	150	140	150	207	193	231	309
150	130	128	187	175	188	259	242	288	386
180	156	153	224	211	226	311	290	346	464
210	183	179	262	246	263	363	339	403	541
240	209	205	299	281	301	415	387	461	618

Para el Xileno

Modelo:

$$W_E = m * A * t$$

$$W_E = 0,001173822 - 0,000102316 T - 1,95782 \times 10^{-9} Re + 2,40441 \times 10^{-6} T^2 - 3,20991 \times 10^{-13} Re^2 + 7,29887 \times 10^{-10} T * Re * A * t$$

Cuadro 52. Pérdidas de Peso del Xileno sometido a diferentes Regímenes de Turbulencia a diferentes Temperaturas

T, °C	19	23	26	19	23	26	19	23	26
Re	808	852	883	4039	4262	4415	12118	12787	13245
m	0,00005334	0,00007381	0,00007813	0,00009257	0,00010691	0,00010600	0,00014713	0,00014120	0,00012366
tiempo	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E	W_E
min	g	g	g	g	g	g	g	g	g
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	13	18	19	22	26	25	35	34	30
60	26	35	38	44	51	51	71	68	59
90	38	53	56	67	77	76	106	102	89
120	51	71	75	89	103	102	141	136	119
150	64	89	94	111	128	127	177	170	149
180	77	106	113	133	154	153	212	204	178
210	90	124	131	156	180	178	247	237	208
240	103	142	150	178	205	204	283	271	238

5. DISCUSIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

- Es evidente el incremento de masa evaporada al aumentar la Temperatura esto puesto que el calor hace que las moléculas del solvente tengan mayor movimiento y se escapen con mayor facilidad hacia el ambiente, por lo que las tres temperaturas experimentales con las que se trabajó permitirán evidenciar éstos cambios.
- La turbulencia aporta con la evaporación del solvente puesto que genera una alta convección que provoca que exista una transferencia de calor favoreciendo así la difusión de las moléculas gaseosas hacia el ambiente, esto generó que en el área de trabajo se concentraran vapores con los olores característicos de los solventes siendo más fuerte con el incremento de la velocidad de agitación.
- Las pérdidas por evaporación responden a un comportamiento lineal en la relación W_E/A en función del tiempo es decir que la masa evaporada se ha ido incrementando en función del tiempo esto en todos los sistemas estudiados, siempre con la misma tendencia.
- La baja volatilidad de los solventes debido tanto a sus puntos de ebullición (Tolueno = 111°C, Xileno = 138°C) y presiones de vapor (Tolueno = 21 mmHg, Xileno = 6 mmHg) el cálculo del flujo másico se tuvo que realizar haciendo uso de seis decimales para el Tolueno y ocho decimales para el Xileno, esto con la finalidad de que se permita evidenciar las mermas producidas en cada sistema

- El cálculo del área de evaporación se tuvo que realizar de acuerdo a las condiciones de experimentación así: para la condición de almacenamiento es decir recipientes cerrados se usó el área de la superficie del líquido al igual que para el sistema dinámico, en el caso del sistema estático se debió calcular ésta área tomando en cuenta el área de superficie del líquido y el área de salida de los vapores por lo que se obtuvo la media logarítmica de las mismas, con el fin de encontrar una relación entre las dos áreas y que se ajuste mejor al modelo matemático obtenido
- Al comprobar el modelo matemático en el cuadro 38 para el Tolueno en el Sistema Dinámico se encuentra un error de 87,69% el mismo que resulta muy alto e inaceptable, sin embargo los demás son en su mayoría bajos por lo que pudo haber existido algún error aleatorio en el momento de realizar de pesar y registrar la pérdida de peso.
- Las unidades de tiempo usadas estuvieron de acuerdo a las necesidades de cada sistema por lo que al simular el Almacenamiento que se entiende en recipientes cerrados se ha usado el tiempo en días, mientras que para el Sistema Estático y Dinámico se usó el tiempo en minutos.
- El sistema dinámico se usó para simular las condiciones del solvente cuando éste es usado en un proceso productivo, en donde la agitación se convirtió en una variable más para el cálculo de la masa evaporada, sin embargo el solvente se usó puro más no en mezclas como realmente se lo realiza en la elaboración de pinturas, tiñer, etc.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El incremento de la temperatura en el Sistema Estático favorece a la evaporación de ambos solventes como muestran los cuadros 8 y 9 para el Tolueno y Xileno respectivamente puesto que a mismos intervalos de tiempo el incremento de 7°C produce 0,74 gramos más de evaporación para el Tolueno y 0,22 gramos más para el Xileno, sucediendo algo similar en los otros dos sistemas.
- La velocidad de agitación influye positivamente en la evaporación como se puede apreciar en los cuadros 10 y 11, considerando que para una misma temperatura $T = 26^{\circ}\text{C}$ y un mismo intervalo de tiempo el incremento de 840 rpm genera 1,84 gramos más de masa evaporada para el Tolueno y 0,46 gramos más para el Xileno
- De acuerdo a los gráficos de $WE/A = f(\text{tiempo})$ se concluye que las pérdidas por evaporación de masa responden a un comportamiento lineal con pendientes que van entre 0,0001 y 0,01 en los tres sistemas, siendo positiva la pérdida con el incremento del tiempo.
- El uso de seis y ocho decimales para obtener el Flujo másico en los gráficos $WE = f(t)$ muestra como los solventes usados son pocos volátiles, 0,000118 y 0,00004678 para el Tolueno y Xileno respectivamente en el Sistema Estático a 19°C concluyendo que el Xileno tiene menor volatilidad al ser comparado con el Tolueno.

- En un intervalo de 60 minutos se evapora 0,25 gramos de Tolueno a 26°C y en 240 minutos se evaporan 1,26 gramos, mostrándonos que el proceso de evaporación depende del tiempo transcurrido es decir que a mayor tiempo mayor será también la masa evaporada.
- Los datos obtenidos experimentalmente obligaron a un tratamiento estadístico que permitió obtener un modelo matemático que relacione las variables que influyen en la evaporación, obteniendo así tres ecuaciones diferentes para cada solvente que se resumen en el siguiente cuadro

Cuadro 53. Resumen de los Modelos Obtenidos generados de los Datos Experimentales

Solvente	Modelo	
Tolueno	Almacenamiento	$W_E = 0,000291 * T + 0,003102 * A * t$
	Sistema Estático	$W_E = 0,00000727 * T - 0,00002046 * A * t$
	Sistema Dinámico	$W_E = 0,001173822 - 0,000102316 T - 1,95782 \times 10^{-9} Re + 2,40441 \times 10^{-6} T^2 - 3,20991 \times 10^{-13} Re^2 + 7,29887 \times 10^{-10} T * Re * A * t$
Xileno	Almacenamiento	$W_E = 0,00011366 * T + 0,00544732 * A * t$
	Sistema Estático	$W_E = 0,00000174 * T + 0,00001295 * A * t$
	Sistema Dinámico	$W_E = -0,000288104 + 2,72146 \times 10^{-5} T + 2,54074 \times 10^{-8} Re - 5,17993 \times 10^{-7} T^2 - 4,76256 \times 10^{-13} Re^2 - 5,76776 \times 10^{-10} T * Re * A * t$

6.2 Recomendaciones

- Debido a que los solventes estudiados son poco volátiles se recomienda realizar el estudio con balanzas de mayor sensibilidad que permitan evidenciar el más mínimo cambio de peso durante la experimentación además de considerar otras variables que afectan la evaporación del solvente.
- Debido a que la parte experimental se la realizó a nivel de laboratorio el recipiente y agitador usados en el Sistema Dinámico son pequeños por lo que la ecuación

obtenida para este sistema tiene restricciones en cuanto al número de Reynolds así: para el Tolueno el $Re \leq 60000$ y para el Xileno el $Re \leq 27000$, por lo que se recomienda realizar un estudio a mayor escala no solo en este sistema sino también en los demás, que permitan obtener valores de Re mucho más reales acorde con las industrias.

- Para evitar pérdidas de solventes se recomienda mantenerlos en lugares a bajas temperaturas además de que antes de que sea abierto un tanque que contenga un solvente volátil éste sea enfriando para minimizar las posibles pérdidas de masa por evaporación.
- Para la experimentación en la que se simula el almacenamiento de los solventes es decir con los recipientes cerrados hay que considerar la hermeticidad de los recipientes, en los que aparentemente no existían fugas sin embargo se registraron pérdidas de peso, por lo que es recomendable hacer uso de materiales adicionales en la tapas de los envases para contribuyan a una mayor hermeticidad y así obtener datos más reales.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

1. CONSEP.Gobierno Nacional de la República del Ecuador [en línea] [fecha de consulta: 02 de Enero del 2012]. Disponible en:
http://www.consep.gob.ec/index.php?cod_categoria=1&cod_sub=4
2. BLOGS. [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 9 de Mayo del 2012]. Disponible en:
http://electrofilos.blogspot.com/2009/04/solventes-organicos_7777.html
3. BLOGS. [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 9 de Mayo del 2012]. Disponible en:
<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1857>
4. BLOGS. [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 9 de Mayo del 2012]. Disponible en:
http://rapidshare.com/files/194942241/Handbook_of_Organic_Solvent_Properties_Ian_M._Smallwood_.pdf
5. BLOGS. [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 9 de Mayo del 2012]. Disponible en:
<http://grupopetroquimica.blogspot.com/>
6. MASSCHELEIN Liliane[en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 09 de Marzo del 2012]. Disponible en:
<http://dglab.cult.gva.es/Archivos/Pdf/DIBAMsolventes.pdf>

7. BLOGS. [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 23 de Abril del 2012]. Disponible en:
<http://www.textoscientificos.com/quimica/benceno/obtencion>
8. KIRK Raymond, Enciclopedia de Tecnología Química. Editorial Hispano-Americano. México. Vol 15. 1966 p.540
9. KIRK Raymond, Enciclopedia de Tecnología Química. Editorial Hispano-Americano. México. Vol 15. 1966 p.542.
10. KIRK Raymond, Enciclopedia de Tecnología Química. Editorial Hispano-Americano. México. Vol 16. 1966 p.252
11. KIRK Raymond, Enciclopedia de Tecnología Química. Editorial Hispano-Americano. México. Vol 16. 1966 p.259
12. Microsoft ® Encarta ® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.
Reservados todos los derechos.. [fecha de consulta: 26 de Abril del 2012].
13. MASSCHELEIN Liliane[en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 09 de Marzo del 2012]. Disponible en:
<http://dglab.cult.gva.es/Archivos/Pdf/DIBAMsolventes.pdf>
14. LARA, Marco. Pérdidas por Evaporación en Régimen Turbulento del Solvente 1. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Faculta de Ingeniería Química. Quito. 2011. p.6
15. LARA, Marco. Pérdidas por Evaporación en Régimen Turbulento del Solvente 1. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Faculta de Ingeniería Química. Quito. 2011. p.13

16. MCCLAVE Sheaffer. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Grupo editorial Iberoamericana. México.1993. p.418
17. MCCLAVE Sheaffer. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Grupo editorial Iberoamericana. México.1993. p.525

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS Víctor. Coeficiente de Transporte de Masa para Evaporación de MetilIsobutil Cetona, ButilCellosolve y Metanol. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. Quito. 1995.147p.

BLOGS. [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [Fecha de consulta: 23 de Abril del 2012]. Disponible en:

<http://www.textoscientificos.com/quimica/benceno/obtencion>

BLOGS. [En línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [Fecha de consulta: 9 de Mayo del 2012]. Disponible en:

<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1857>

BLOGS. [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 9 de Mayo del 2012]. Disponible en:

[http://rapidshare.com/files/194942241/Handbook of Organic Solvent Properties Ian M. Smallwood .pdf](http://rapidshare.com/files/194942241/Handbook_of_Organic_Solvent_Properties_Ian_M._Smallwood_.pdf)

CARDENAS Jorge, Yarango A. “Tablas de Termodinámica”, Editorial Isabel, Lima Perú.48p.

CONSEP.Gobierno Nacional de la República del Ecuador [en línea] [fecha de consulta: 02 de Enero del 2012]. Disponible en:

http://www.consep.gob.ec/index.php?cod_categoria=1&cod_sub=4

KIRK Raymond, Enciclopedia de Tecnología Química. Editorial Hispano-Americano. México. Vol 15. 1966 771p.

LARA, Marco. Pérdidas por Evaporación en Régimen Turbulento del Solvente 1. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito. 2011. 156p.

MCCLAVE Sheaffer. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Grupo editorial Iberoamericana. México.1993. 418p.

MASSCHELEIN Liliane [en línea]: Documento electrónico disponible en Internet. [fecha de consulta: 09 de Marzo del 2012]. Disponible en:
<http://dglab.cult.gva.es/Archivos/Pdf/DIBAMsolventes.pdf>

NOBOA Gabriel. Modelo Matemático Predictivo para Determinar las Pérdidas por Evaporación de la Gasolina. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. Quito. 1999. 136 p.

PACHACAMA Caiza, Juan. Cinética de Evaporación de los Solventes Orgánicos Acetona, Acetato de Etilo, Tolueno y Xileno. Trabajo de Grado. Doctor Químico. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Química. Quito. 2011. 132 p.

ANEXOS









ANEXO A: Resultados obtenidos del análisis de regresión múltiple generados por los datos de Cuadro 29, para el TOLUENO

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple	0,998496454							
Coefficiente de determinación R ²	0,996995169							
R ² ajustado	0,991987118							
Error típico	6,18383E-06							
Observaciones	9							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	5	3,80635E-08	7,6127E-09	199,078459	0,000557742			
Residuos	3	1,14719E-10	3,82397E-11					
Total	8	3,81782E-08						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	0,001173822	0,000182126	6,445108761	0,00757472	0,000594216	0,00175343	0,000594216	0,001753428
Variable X 1	-0,000102316	1,6416E-05	-6,232707914	0,00832893	-0,000154559	-5,0073E-05	-0,000154559	-5,00732E-05
Variable X 2	-1,95782E-09	3,29685E-09	-0,593845665	0,5944157	-1,24499E-08	8,5342E-09	-1,24499E-08	8,53422E-09
Variable X 3	2,40441E-06	3,6573E-07	6,574284229	0,00715954	1,2405E-06	3,5683E-06	1,2405E-06	3,56833E-06
Variable X 4	-3,20991E-13	1,21188E-13	-2,648699486	0,07707954	-7,06666E-13	6,4684E-14	-7,06666E-13	6,46838E-14
Variable X 5	7,29887E-10	1,2915E-10	5,651488187	0,01096669	3,18876E-10	1,1409E-09	3,18876E-10	1,1409E-09

ANEXO B: Resultados obtenidos del análisis de regresión múltiple generados por los datos de Cuadro 30, para el XILENO

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple	0,997351671							
Coefficiente de determinación R ²	0,994710356							
R ² ajustado	0,985894283							
Error típico	3,74228E-06							
Observaciones	9							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	5	7,9007E-09	1,58013E-09	112,829183	0,001300014			
Residuos	3	4,2014E-11	1,40046E-11					
Total	8	7,9427E-09						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	-0,000288104	0,00011017	-2,615097347	0,07933565	-0,000638713	6,25046E-05	-0,000638713	6,25046E-05
Variable X 1	2,72146E-05	9,9331E-06	2,739797717	0,07135048	-4,39686E-06	5,88261E-05	-4,39686E-06	5,88261E-05
Variable X 2	2,54074E-08	2,241E-09	11,33774978	0,00147184	1,82757E-08	3,25392E-08	1,82757E-08	3,25392E-08
Variable X 3	-5,17993E-07	2,2137E-07	-2,339994277	0,10122224	-1,22248E-06	1,86489E-07	-1,22248E-06	1,86489E-07
Variable X 4	-4,76256E-13	9,4447E-14	-5,042581512	0,0150385	-7,76828E-13	-1,75684E-13	-7,76828E-13	-1,75684E-13
Variable X 5	-5,76776E-10	8,9539E-11	-6,44163809	0,00758631	-8,61727E-10	-2,91824E-10	-8,61727E-10	-2,91824E-10

ANEXO C: HOJA DE SEGURIDAD DEL TOLUENO

TOLUENO		ICSC: 0078	
		Octubre 2002	
Metilbenceno Fenilmetano		Toluol	
CAS:	108-88-3	C ₆ H ₅ CH ₃ / C ₇ H ₈	 
RTECS:	XS5250000	Masa molecular: 92,1	
NU:	1294		
CE Índice Anexo I:	601-021-00-3		
CE / EINECS:	203-625-9		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra). NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡HIGIENE Estricta! ¡EVITAR LA EXPOSICIÓN DE MUJERES (EMBARAZADAS)! ¡	
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor abdominal. (Ver Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
¡Evacuar la zona de peligro en caso de grandes derrames! Consultar a un experto en caso de grandes derrames. Eliminar toda fuente de ignición. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo en el alcantarillado. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Protección personal: equipo autónomo de respiración en caso de grandes derrames.		Clasificación UE Símbolo: F, Xn R: 11-38-48/20-63-65-67 S: (2-)36/37-46-62 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1294. Código NFPA: H2; F3; R0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	
IPCS International Programme on Chemical Safety		     	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2003			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS:

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.

PELIGROS QUÍMICOS:

Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 50 ppm como TWA; (piel); A4 (no clasificable como cancerígeno humano); BEI establecido; (ACGIH 2004).
MAK: Riesgo para el embarazo: grupo C; (DFG 2004).
LEP UE: 192 mg/m³, 50 ppm como TWA; 384 mg/m³, 100 ppm como STEL (piel) (EU 2006).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y a la consiguiente neumonitis química. La exposición a altas concentraciones puede producir arritmia cardíaca y pérdida del conocimiento.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar a sistema nervioso central. La exposición a esta sustancia puede potenciar el daño auditivo causado por la exposición a ruido. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 111°C

Punto de fusión: -95°C

Densidad relativa (agua = 1): 0,87

Solubilidad en agua: ninguna

Presión de vapor, kPa a 25°C: 3,8

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,1

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,01

Punto de inflamación: 4°C c.c.

Temperatura de autoignición: 480°C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1,1-7,1

Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2,69

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.

NOTAS

Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo.

Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2004: ver Clasificación UE, Respuesta de Emergencia, y en octubre de 2006: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 50 ppm; 192 mg/m³

VLA-EC: 100 ppm, 384 mg/m³


VLB: 0,5 mg/L en orina de o-cresol; 1,6 g/g creatinina en orina de ácido hipúrico; 0,05 mg/L en sangre.

Notas: vía dérmica. Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.




ANEXO D: HOJA DE SEGURIDAD DEL XILENO




o-XILENO			ICSC: 0084 Marzo 2002
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	95-47-6 ZE2450000 1307 601-022-00-9 202-422-2	orto-Xileno 1,2-Dimetilbenceno o-Xilol $C_8H_{10}(CH_3)_2$ / C_8H_{10} Masa molecular: 106.2	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Por encima de 32°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 32°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		HIGIENE Estricta EVITAR LA EXPOSICIÓN DE MUJERES (EMBARAZADAS)	
Inhalación	Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor abdominal (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal complementaria: Filtro respiratorio para vapores orgánicos y gases).	Clasificación UE Símbolo: Xn R: 10-20/21-38 S: (2-)25 Nota: C Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: III
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1307-III Código NFPA: H 2; F 3; R 0;	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes y ácidos fuertes.

IPCS

International
Programme on
Chemical Safety





Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

o-XILENO		ICSC: 0084
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.	VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.	
PELIGROS FÍSICOS Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.	RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.	
PELIGROS QUÍMICOS Reacciona con ácidos fuertes y oxidantes fuertes.	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita los ojos y la piel. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química.	
LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 100 ppm como TWA; 150 ppm como STEL; A4; BEI establecido (ACGIH 2001). UE OEL: 50 ppm como TWA; 100 ppm como STEL (piel) (EU 2000).	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. La exposición a esta sustancia puede potenciar el daño auditivo causado por la exposición a ruido. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 144°C Punto de fusión: -25°C Densidad relativa (agua = 1): 0,88 Solubilidad en agua: ninguna Presión de vapor, kPa a 20°C: 0,7 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,7	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,02 Punto de inflamación: 32°C c.c. Temperatura de autoignición: 463°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 0,9-6,7 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 3,12	
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Aplicar también las recomendaciones de esta ficha a xileno de grado técnico. Consultar también la ficha FISQ 0086 p-Xileno y FISQ 0085 m-Xileno. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en enero de 2008: ver Límites de exposición.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 50 ppm; 221 mg/m ³ VLA-EC: 100 ppm; 442 mg/m ³ Notas: vía dérmica. VLB: 1,5 mg/g creatinina en orina de ácidos metilhipúricos.		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autores de la versión española.	
© IPCS. CE 2005		